



**TUGAS AKHIR - RC141501**

**EVALUASI KINERJA GEDUNG MENGGUNAKAN  
BASE ISOLATION TIPE HIGH DAMPING RUBBER  
BEARING (HDRB) PADA MODIFIKASI GEDUNG  
J-Tos JOGJAKARTA DENGAN PERENCANAAN  
ANALISA PUSHOVER**

**WIKI ANDRIAN  
NRP 3115 105 020**

**Dosen Pembimbing:  
Ir. FAIMUN, M.Sc., Ph.D  
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**TUGAS AKHIR - RC141501**

**EVALUASI KINERJA GEDUNG MENGGUNAKAN  
BASE ISOLATION TIPE HIGH DAMPING RUBBER  
BEARING (HDRB) PADA MODIFIKASI GEDUNG  
J-Tos JOGJAKARTA DENGAN PERENCANAAN  
ANALISA PUSHOVER**

**WIKI ANDRIAN  
NRP 3115 105 020**

**Dosen Pembimbing:  
Ir. FAIUMUN, M.Sc., Ph.D  
ENDAH WAHYUNI, ST., M.Sc., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

# **EVALUASI KINERJA GEDUNG MENGGUNAKAN BASE ISOLATION TIPE *HIGH DAMPING RUBBER BEARING* (*HDRB*) PADA MODIFIKASI GEDUNG J-Tos JOGJAKARTA DENGAN PERENCANAAN ANALISA *PUSHOVER***

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**WIKI ANDRIAN**  
**NRP. 3115 105 020**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

**Ir, Faimun, M.Sc., Ph.D**  
**NIP : 1963 0605 1989 031004**

(.....)

**Endah Wahyuni, ST., M.Sc., Ph.D**  
**NIP : 1970 0201 1995 122001**

(.....)

**SURABAYA**  
**JULI 2017**

**EVALUASI KINERJA GEDUNG MENGGUNAKAN *BASE ISOLATION* TIPE *HIGH DAMPING RUBBER BEARING* (HDRB) PADA MODIFIKASI GEDUNG J- Tos JOGJAKARTA DENGAN PERENCANAAN ANALISA *PUSHOVER***

**Nama Mahasiswa** : Wiki Andrian  
**NRP** : 3115105020  
**Jurusan** : Teknik Sipil FTSP-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Faimun, MSc., PhD  
Endah Wahyuni, ST., MSc., PhD

***Abstrak***

Indonesia merupakan daerah rawan gempa, salah satunya daerah yang memiliki percepatan gempa yang tinggi adalah Sumatera Barat. Salah satu metode untuk mengurangi energi gempa yaitu dengan menambahkan *seismic device* pada bagian tertentu bangunan sesuai dengan fungsinya masing-masing. Salah satu sistem *seismic device* yang digunakan adalah menggunakan sistem isolasi. Didalam tugas akhir ini akan dianalisa modifikasi gedung di J-Tos Jogjakarta, gedung yang pada awalnya terletak pada zona gempa kecil kemudian dianalisis dengan menambahkan sistem isolasi tipe *high damping rubber bearing* (HDRB). Halis analisis digunakan untuk mendesain gedung pada yang terletak dizona gempa kuat dengan menggunakan analisa *pushover* dan program bantu SAP2000.

Berdasarkan hasil perhitungan analisa struktur, gedung yang ditinjau menggunakan HDRB mengalami reduksi gaya geser pada struktur sebesar 66,59%. Arah x dan 67,30% arah y, Displacement yang terjadi pada gedung yang menggunakan HDRB lebih besar dari pada gedung yang menggunakan sistem fixed-base yaitu akibat beban gempa dinamik displacement meningkat 66,97% untuk arah x dan 55,53% untuk arah y, Struktur gedung yang ditinjau menggunakan HDRB mampu mengurangi simpangan antar lantai ( $\Delta$ ) terhadap struktur gedung *fixed based* sebesar 82,52% arah x dan 78,08% arah y.



Dari hasil analisa *pushover*, level kinerja gedung dengan sistem *fixed-base* maupun *sistem isolasi* berdasarkan ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440 adalah B (*Operational*).

**Kata Kunci** : Base Isolator, HDRB, Pushover Analysis, Level Kinerja Struktur

**BUILDING PERFORMANCE EVALUATION BY *HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)* TYPE OF BASE ISOLATION ON THE MODIFICATION OF J- TOS JOGJAKARTA BUILDING USING *PUSHOVER* ANALYSIS PLANNING**

**Name** : Wiki Andrian  
**NRP** : 3115105020  
**Major** : Civil Engineering FTSP-ITS  
**Academic Supervisor** : Ir. Faimun, MSc., PhD  
Endah Wahyuni, ST., MSc., PhD

***Abstract***

Indonesia is an area prone to earthquakes, one of the areas that have a high earthquake acceleration is West Sumatra. One method to reduce the seismic energy is by adding a *seismic device* in certain parts of the building in accordance with their respective functions. One of the seismic device system used is using an isolation system. In this final project we will analyzed the modification of J-Tos building in Jogjakarta, the building which was originally located in a small earthquake zone were analyzed by adding an isolation system of *high damping rubber bearings (HDRB)* type. The results of the analysis was then used as a guide for designing a building which is located on a high earthquake zone by using *pushover* analysis and auxiliary program SAP2000.

Based on the calculation of structural analysis, the building was reviewed using HDRB has a shear force reduction on the structure of 66.59% on x axis and 67,30% on y axis, Displacement occurred in a building using HDRB is bigger than building using a fixed-base system that is caused by a dynamic earthquake load the displacement increased of 66,97% for x axis and 55,53% for y axis, structures of the buildings which was reviewed using *HDRB* were able to reduce the deviation between the floor (*A*) to the *fixed based* building structure up to 82.52% on x axis and 78.08% on y axis.

From the results of the *pushover* analysis, the level of performance of the building using a *fixed-base* systems as well as an *isolation system* based on ATC-40, FEMA 356 and FEMA 440 is valued as B (*Operational*).

**Keywords:** Base Isolator, HDRB, Pushover Analysis, Structure Performance Level

## KATA PENGANTAR

### **Assalamu'alaikum Wr. Wb**

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah serta karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya.

Pada kesempatan ini ijinkanlah penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar besarnya atas bimbingan dan dorongan tiada henti kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan penuh dan tak pernah lelah untuk memberi nasihat kepada penulis,
2. Bapak Ir. Faimun, MSc., PhD dan Ibu Endah Wahyuni, ST., MSc., PhD sebagai dosen pembimbing yang memberikan banyak masukan dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
3. Bapak Budi Suswanto, ST., MT., PhD selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil ITS.
4. Bapak Dr. tenchn Pujo Aji ST., M.Sc sebagai dosen wali yang selalu memberkan motivasi dan semangat selama menempuh pendidikan di Teknik Sipil ITS.
5. Seluruh dosen pengajar jurusan Teknik Sipil ITS yang secara tidak langsung telah memberikan bimbingan dan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis.
6. Seluruh teman – teman ITS khususnya Teknik Sipil LJ ITS.

Dengan segenap kerendahan hati, penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Sehingga, besar harapan adanya koreksi maupun masukan dari semua pihak untuk kesempurnaan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2017

Wiki Andrian

## DAFTAR ISI

### HALAMAN JUDUL

### LEMBAR PENGESAHAN

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xv</b>

### BAB I

#### PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat .....	7

### BAB II

#### TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum.....	8
2.2 Konsep Seismic Base Isolation.....	10
2.3 Model Matematik Struktur Isolasi Pada Bangunan.....	14
2.3.1 Derajat Kebebasan (Degree Of Freedom) .....	14
2.3.2 Persamaan Difrensial Struktur SDOF akibat Base Motion .....	15
2.3.3 Persamaan Difrensial Struktur MDOF .....	17
2.4 Mekanikal Karakteristik Dari Base Isolation Type High Damping Rubber Bearing.....	18
2.5 Analisa Seismic Isolation berdasarkan AASHTO.....	20
2.6 Properti Sendi Plastis.....	22
2.6.1 Hinge Properti Balok.....	22
2.6.2 Hinge Properti Kolom .....	23

2.5.3	Penentuan Letak Sendi Plastis .....	23
2.7	Performance Based Design.....	24
2.8	Analisa Statik Nonlinear (Pushover Analysis).....	27
2.8.1	Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356) .....	29
2.8.2	Metode Spektrum Kapasitas .....	30
2.8.3	Metode Koefisien Perpindahan Yang Diperbaiki (FEMA 440) .....	32

### **BAB III**

#### **METODOLOGI**

3.1	Bagan Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir.....	33
3.2	Uraian Diagram Alir.....	34
3.2.1	Pengumpulan Data .....	34
3.2.2	Studi Literatur .....	35
3.2.3	Preliminary Design .....	36
3.2.4	Penentuan Kekakuan Isolator.....	38
3.2.5	Permodelan Struktur 3D.....	39
3.2.6	Analisis Pembebanan .....	40
3.2.7	Analisa Struktur .....	53
3.2.8	Kontrol Desain .....	53
3.2.9	Analisa Struktur Dengan <i>Pushover Analysis</i> .....	55
3.2.10	Evaluasi Kinerja Struktur .....	57

### **BAB IV**

#### **PRELIMINARY DESIGN**

4.1	Data Desain Preliminary .....	63
4.2	Preliminary Design Balok (SNI 2847-2013 pasal 9.5.2.2, tabel 9.5(a)) .....	63
4.2.1	Balok Induk.....	64
4.2.2	Balok Anak .....	64
4.3	Preliminary Design Pelat Lantai.....	66
4.4	Preliminary Design Kolom.....	68

## **BAB V**

### **PERHITUNGAN STRUKTUR SEKUNDER**

5.1	Perhitungan Struktur Pelat Lantai .....	73
5.1.1	Pembebanan Struktur Pelat Lantai.....	73
5.1.2	Analisis Struktur Pelat Lantai.....	74
5.1.2.1	Perhitungan Tulangan Pelat Lantai.....	74
5.2	Perhitungan Struktur Balok Sekunder .....	106
5.2.1	Pembebanan Balok Sekunder .....	107
5.2.2	Analisis Struktur Balok Sekunder .....	108
5.2.3	Perhitungan Tulangan Balok Sekunder .....	109
5.3	Desain Struktur Tangga .....	120
5.3.1	Desain Struktur Pelat Tangga Dan Pelat Bordes .....	120
5.3.1.1	Pembebanan Struktur Pelat Tangga dan Pelat Bordes.....	122
5.3.1.2	Analisis Struktur Pelat Tangga Dan Pelat Bordes .....	123
5.3.1.3	Perhitungan Tulangan Pelat Tangga dan Bordes .....	127
5.3.2	Desain Balok Bordes.....	130
5.3.2.1	Pembebanan Balok Bordes.....	130
5.3.2.2	Analisis Struktur Balok Bordes .....	130
5.3.2.3	Perhitungan Tulangan Balok Bordes.....	131
5.4	Perhitungan Lift .....	138
5.4.1	Kapasitas Lift.....	138
5.4.2	Data Teknis.....	139
5.4.3	Perhitungan Balok Perletakan Lift.....	139
5.4.4	Perhitungan Tulangan Balok Perletakan Lift.....	147

## **BAB VI**

### **ANALISA STRUKTUR**

6.1	Pembebanan .....	151
6.1.1	Beban Mati.....	151
6.1.2	Beban Hidup.....	152

6.1.3	Beban Gempa .....	153
6.1.3.1	Analisa Model Respon Spektrum .....	157
6.1.3.2	Analisa Model Statik Ekuivalen .....	160
6.2	Perhitungan Sistem Struktur Base Isolator .....	163
6.2.1	Persyaratan Perencanaan Umum .....	163
6.2.2	Perhitungan Dimensi High Damping Rubber Bearing (HDRB).....	164
6.2.3	Analisa Isolation Structure .....	166
6.2.4	Permodelan Isoloator Structure .....	171
6.2.5	Kontrol Analisa Isolation Structure.....	171
6.2.4.1	Batas Simpangan Antar lantai.....	175
6.2.4.2	Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum .....	176
6.2.4.3	Kontrol Partisipasi Massa .....	177
6.3	Penulangan Struktur Base Isolator.....	178
6.3.1	Perencanaan Balok Induk .....	178
6.3.2	Perencanaan Kolom .....	189
6.4	Hasil Analisa Pushover Base Isolation .....	193
6.4.1	Target Perpindahan.....	193
6.4.2	Mekanisme Sendi Plastis .....	200

## **BAB VII**

### **EVALUASI HASIL ANALISA STRUKTUR**

7.1	Perbandingan Gaya Geser Dasar, Displacement dan Simpangan Antar Lantai Menurut SNI 1726:2012 .....	206
7.2	Perbandingan Momen dan Gaya Geser.....	211
7.3	Hasil Analisa Pushover.....	212

## **BAB VIII**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

8.1	Kesimpulan .....	213
8.2	Saran .....	214

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## **BIODATA PENULIS**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Prilaku gedung yang menggunakan base solator...11
Gambar 2.2	Deformasi Struktur Bangunan Akibat Beban Gempa Pada Struktur Konvensional Dengan Struktur Isolasi .....14
Gambar 2.3	Struktur SDOF akibat Base Motion.....15
Gambar 2.4	High Damping Rubber Bearing .....19
Gambar 2.5	konversi nilai redaman <i>Seismic Isolatoin</i> .....20
Gambar 2.6	Grafik Respon Spktrum sebelum Penskalaan dengan koefisien redaman B.....21
Gambar 2.7	Grafik Respon Spktrum setelah Penskalaan dengan koefisien redaman B .....21
Gambar 2.8	Posisi Sumbu lokal Balok Struktur pada Program SAP 2000 .....22
Gambar 2.9	Posisi Sumbu lokal Kolom Struktur pada Program SAP 2000 .....23
Gambar 2.10	Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom ...24
Gambar 2.11	Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom base isolation .....24
Gambar 2.12	Kurva Perfomance Levels (Tingkat Kinerja) dari Hubungan Gaya-Perpindahan Suatu Bangunan.....27
Gambar 2.13	Perilaku Pasca Leleh Sistem Struktur.....29
Gambar 2.14	Skematik Prosedur Metode Koefisien Perpindahan ( <i>FEMA 440</i> ).....29
Gambar 2.15	Penentuan Titik Kinerja menurut Metode Spektrum Kapasitas.....31
Gambar 2.16	Modifikasi <i>Capacity Curve</i> menjadi <i>Capacity Spectrum</i> .....31
Gambar 3.1	Diagram Alir Perencanaan Tugas Akhir.....33
Gambar 3.2	Denah bangunan .....35
Gambar 3.3	Peta Untuk S1 ( $T=1s$ , probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%)).....44
Gambar 3.4	Peta Untuk SS ( $T=0,2s$ , probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%)).....44

Gambar 3.5	Ketentuan Penggambaran Grafik Respon Spektrum.....	51
Gambar 3.6	Penentuan Simpangan Antar Tingkat .....	54
Gambar 3.7	Performance Level Curve .....	58
Gambar 4.1	Contoh bagian slab yang disertakan dengan balok .....	66
Gambar 4.2	Panel Pelat Sumbu 3-2:F-G .....	67
Gambar 4.3	Tributari Dari Lantai Atap atau Lantai Dua.....	69
Gambar 5.1	Panel Pelat 3-2:F-G.....	75
Gambar 5.2	Potongan Plat Lantai.....	76
Gambar 5.2	Type Plat Sumbu 3-2:G-H .....	92
Gambar 5.3	Kondisi Plat 3-2:F-G.....	92
Gambar 5.4	Distribusi Beban Pelat Ke Balok Anak.....	107
Gambar 5.5	Diagram Gaya Geser Balok Sekunder F':2-3 .....	119
Gambar 5.7	Denah Penempatan Tangga Pada Lantai 2 (ditandai dengan garis merah).....	121
Gambar 5.9	Dimensi Lebar dan Tinggi Anak Tangga.....	121
Gambar 5.10	Model Pembebanan Pelat Tangga dan Bordes.....	123
Gambar 5.11	Diagram Gaya Geser Pelat Tangga dan Pelat Bordes .....	126
Gambar 5.12	Diagram Momen Pelat Tangga dan Pelat Bordes .....	126
Gambar 5.16	Elevator Hyundai Luxen.....	139
Gambar 5.17	Denah Balok Perletakan Mesin.....	140
Gambar 5.18	Diagram Momen Balok Lift Perletakan Mesin.....	146
Gambar 5.19	Diagram Geser Balok Lift Perletakan Mesin.....	149
Gambar 6.1	Permodelan Struktur <i>Base Isolation</i> Gedung Modifikasi J-Tos Jogjakarta Program SAP 2000 v15 .....	151
Gambar 6.2	Hasil Grafik Spektrum Respon Desain.....	159
Gambar 6.3	Sampel titik reaksi terbesar pada kolom interior dan ekterior (Pada Lingkaran Merah dan Biru) .....	164
Gambar 6.4	Grafik Respons Spektrum Jogjakarta .....	167
Gambar 6.5	Grafik Respons Base Isolator .....	168
Gambar 6.6	Permodelan Seismic Isolation.....	171
Gambar 6.7	Input Spesifikasi HDRB .....	172

Gambar 6.8	Input Directional propeties HDRB .....	173
Gambar 6.9	Assign Base Isolator Pada SAP 2000 V.15 .....	174
Gambar 6.10	Deformed Shape Dengan Penggunaan Base Isolate ... .....	174
Gambar 6.11	Diagram Interaksi Kolom K1 .....	190
Gambar 6.12	Kurva Pushover Tipe ATC-40 Capacity Spectrum Arah X .....	193
Gambar 6.13	Kurva Pushover Tipe ATC-40 Capacity Spectrum Arah Y .....	195
Gambar 6.14	Kurva Pushover Tipe FEMA 356 Coefficient Method Arah X .....	197
Gambar 6.15	Kurva Pushover Tipe FEMA 356 Coefficient Method Arah Y .....	198
Gambar 6.16	Kurva Pushover Tipe FEMA 440 Coefficient Method Arah X .....	199
Gambar 6.17	Kurva Pushover Tipe FEMA 440 Coefficient Method Arah Y .....	200
Gambar 6.18	Distribusi Sendi Plastis Step 5 Arah X .....	201
Gambar 6.19	Distribusi Sendi Plastis Step 10 Arah X .....	201
Gambar 6.20	Distribusi Sendi Plastis Step 15 Arah X .....	202
Gambar 6.20	Distribusi Sendi Plastis Step 30 Arah X .....	202
Gambar 6.21	Distribusi Sendi Plastis Step 42 Arah X .....	203
Gambar 6.22	Distribusi Sendi Plastis Step 5 Arah Y .....	203
Gambar 6.23	Distribusi Sendi Plastis Step 10 Arah Y .....	204
Gambar 6.24	Distribusi Sendi Plastis Step 20 Arah Y .....	204
Gambar 6.25	Distribusi Sendi Plastis Step 42 Arah Y .....	205
Gambar 7.1	Grafik perbandingan displacement fixed based dengan HDRB akibat gempa respon spectrum arah x. ....	207
Gambar 7.2	Grafik perbandingan simpangan ( $\Delta$ ) fixed based dengan HDRB akibat gempa respon spectrum arah x.. ....	207

Gambar 7.3	Grafik perbandingan displacement fixed based dengan HDRB akibat gempa respon spectrum arah y. ....	208
Gambar 7.4	Grafik perbandingan simpangan ( $\Delta$ ) fixed based dengan HDRB akibat gempa respon spektrum arah y.. ....	208

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Nilai Faktor Reduksi (R) untuk fixed base dan Isolated Structure (Kelly, 2001).....	12
Tabel 3.1	Persyaratan Tebal Pelat Satu Arah dan Balok Bila Lendutan Tidak Dihitung (SNI 2847:2012 Tabel 9.5 (a)).....	34
Tabel 3.2	Persyaratan Tebal Pelat Tanpa Balok Interior Bila Lendutan Tidak Dihitung (SNI 2847:2012 Tabel 9.5 (c)).....	36
Tabel 3.3	Kategori Risiko Bangunan (SNI 1726-2012 Tabel 1) .....	38
Tabel 3.4	Faktor Keutamaan Gempa (SNI-03-1726-2012 Tabel 2) .....	39
Tabel 3.5	Klasifikasi Situs (SNI 03-1726-2012 Tabel 3) .....	40
Tabel 3.6	Koefisien Situs $F_a$ (SNI 03-1726- 2012 Tabel 4) ..	41
Tabel 3.7	Koefisien Situs $F_v$ (SNI 03-1726- 2012 Tabel 5) ..	41
Tabel 3.8	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek (SNI 03-1726-2012 Tabel 6).....	42
Tabel 3.9	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 s (SNI 03-1726-2012 Tabel 7).....	42
Tabel 3.10	Koefisien Dan Faktor Desain Untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (SNI 03-1726-2012 Tabel 9).....	43
Tabel 3.11	Prosedur Analisis Yang Diizinkan (SNI-1726-2012 Tabel 13).....	44
Tabel 3.12	Nilai Koefisien Waktu Getar Perkiraan $C_t$ Dan $x$ (SNI-1726-2012 Tabel 15).....	44
Tabel 3.13	Koefisien Untuk Batas Atas Periode Hasil Perhitungan (SNI-1726-2012 Tabel 14) .....	45
Tabel 3.14	Simpangan Antar Tingkat Izin (SNI-1726-2012 Tabel 16).....	50
Tabel 3.15	Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuk- nya sendi plastis dalam program SAP2000 .....	51

Tabel 4.1	Beban Tributari Kolom 2G .....	65
Tabel 5.1	Hasil Perhitungan Tulangan Panel 3-2:F-F' .....	80
Tabel 5.2	Hasil Perhitungan Tulangan Panel 3-2:F-G .....	90
Tabel 5.3	Spesifikasi Lift Produksi Hyundai Elevator.....	122
Tabel 6.1	Rangkuman Hasil Perhitungan Berat Struktur Per Lantai .....	140
Tabel 6.2	Perhitungan Nilai $\bar{N}$ .....	141
Tabel 6.3	Nilai Periode Fundamental (T) dan Percepatan Respon Spektra (Sa) berdasarkan ketentuan SNI 1726:2012 Pasal 6.4 .....	144
Tabel 6.4	Perhitungan Distribusi Vertikal Gaya Gempa.....	148
Tabel 6.5	Perhitungan Eksentrisitas Terhadap Pusat Massa dan Pusat Kekakuan Bangunan Aktual.....	143
Tabel 6.6	Pusat Massa Baru.....	150
Tabel 6.7	Rasio Partisipasi Massa.....	153
Tabel 6.8	Gaya Geser Dasar Dinamik dan Statik .....	154
Tabel 6.9	Kontrol simpangan antar lantai portal gempa dinamis arah x.....	155
Tabel 6.10	Kontrol simpangan antar lantai portal gempa dinamis arah y.....	155
Tabel 6.11	Kontrol simpangan antar lantai portal gempa statik arah x.....	156
Tabel 6.12	Kontrol simpangan antar lantai portal gempa statik arah y.....	156
Tabel 6.13	Distribusi Sendi Plastis Pushover Arah X.....	170
Tabel 6.14	Distribusi Sendi Plastis Pushover Arah Y.....	171
Tabel 6.15	Nilai Performance Point.....	172
Tabel 6.16	Deformation Limit berbagai kinerja ATC-40 .....	173
Tabel 6.17	Nilai Performance Point.....	174
Tabel 6.18	Deformation Limit berbagai kinerja ATC-40 .....	175
Tabel 6.19	Berat Total Dari Isolation Structure.....	183
Tabel 6.20	Dimension and Performance Properties of HDR Total Rubber Thickness 200 mm. ....	186
Tabel 6.21	Karakteristik Desain HDRB. ....	187
Tabel 6.22	Koefisien redaman BD atau BM.....	189

Tabel 6.23	Perhitungan Distribusi Vertikal Gaya Gempa.....	193
Tabel 6.24	Kontrol simpangan antar lantai portal gempa dinamis arah x.....	197
Tabel 6.25	Kontrol simpangan antar lantai portal gempa dinamis arah y.....	198
Tabel 6.26	Kontrol simpangan antar lantai portal arah x.....	199
Tabel 6.27	Kontrol simpangan antar lantai portal arah y.....	200
Tabel 6.28	Gaya Geser Dasar Dinamik dan Statik..	201
Tabel 6.29	Rasio Partisipasi Massa.....	201
Tabel 6.30	Distribusi Sendi Plastis Pushover Arah X.....	204
Tabel 6.31	Distribusi Sendi Plastis Pushover Arah Y.....	205
Tabel 6.32	Nilai Performance Point.....	206
Tabel 6.33	Deformation Limit berbagai kinerja ATC-40..	207
Tabel 6.34	Nilai Performance Point.....	208
Tabel 6.35	Deformation Limit berbagai kinerja ATC-40..	209
Tabel 7.1	Perbandingan displacement gedung yang menggunakan HDRB dengan fix based akibat gempa dinamik...	221
Tabel 7.2	Perbandingan displacement gedung yang menggunakan HDRB dengan fix based akibat gempa statik.....	222
Tabel 7.3	Nilai reduksi simpangan antar lantai pada gedung yang menggunakan HDRB dengan fix based akibat gempa dinamik x.....	222
Tabel 7.4	Nilai reduksi simpangan antar lantai pada gedung yang menggunakan HDRB dengan fix based akibat gempa dinamik y.....	223
Tabel 7.5	Nilai reduksi simpangan antar lantai pada gedung yang menggunakan HDRB dengan fix based akibat gempa statik x.....	223
Tabel 7.6	Nilai reduksi simpangan antar lantai pada gedung yang menggunakan HDRB dengan fix based akibat gempa statik y.....	224
Tabel 7.7	Perbandingan periode, jumlah mode, dan partisipasi massa.....	225

Tabel 7.8	Distribusi Sendi Plastis Pushover Fixed Based Arah X.....	227
Tabel 7.9	Distribusi Sendi Plastis Pushover Base Isolator Arah X.....	228
Tabel 7.10	Distribusi Sendi Plastis Pushover Fixed Based Arah Y.....	229
Tabel 7.11	Distribusi Sendi Plastis Pushover Base Isolator Arah Y.....	230
Tabel 7.12	Perbandingan perpindahan dan gaya geser dasar maksimum pada gedung yang menggunakan HDRB dengan fix based saat gedung akan mengalami collapse... ..	231
Tabel 7.13	Perbandingan level kinerja jika ditinjau dari perpindahan maksimum fixed based terhadap base isolator... ..	231
Tabel 7.14	Perbandingan Target Perpindahan (Performance Point) Pada Fixed Based Terhadap HDRB .....	232



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara rawan gempa, baik itu gempa vulkanik maupun gempa tektonik karena terletak antara 4 (empat) lempeng tektonik yang aktif, yaitu batas lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, lempeng Filipina dan lempeng Pasifik. Berdasarkan data dari BMKG tercatat dalam kurun waktu bulan Agustus tahun 2016, telah terjadi 593 kejadian gempa di seluruh wilayah Indonesia dan sekitarnya. Salah satu daerah yang memiliki percepatan gempa yang tinggi adalah Jogjakarta.

Kebutuhan akan bangunan tahan gempa merupakan sebuah hal yang harus terpenuhi, khususnya untuk daerah dengan tingkat kerawanan gempa tinggi seperti di Indonesia. Berdasarkan pengalaman yang telah terjadi, keruntuhan bangunan akibat bencana gempa bumi menelan korban jiwa dalam jumlah yang cukup besar. Oleh karena itu, bangunan harus direncanakan untuk dapat memberikan kinerja minimal *life safety*, di mana bangunan diperbolehkan mengalami kerusakan namun tidak mengalami keruntuhan. Dengan demikian, kemungkinan timbulnya korban jiwa dapat diminimalisasi (*Arifin dkk, 2015*).

Suatu struktur dikatakan memenuhi persyaratan kinerja yang baik apabila struktur tersebut memiliki kapasitas untuk menahan gaya gempa sedemikian hingga perilakunya sesuai dengan kriteria perencanaan yang telah ada. Untuk menentukan kapasitas yang melewati batas elastis diperlukan analisis non-linier salah satunya yaitu dengan menggunakan analisa *pushover*. Analisis statik nonlinier *pushover* merupakan prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa (**Dewobroto 2005**).

Kerusakan pada bangunan secara konvensional dapat dicegah dengan memperkuat struktur bangunan terhadap gaya gempa yang bekerja pada bangunan tersebut. Namun hasil ini sering kali tidak memuaskan kerusakan elemen struktural maupun non structural disebabkan adanya perbedaan simpangan antara tingkat (*interstory drift*). Untuk memperkecil interstory drift dapat dilakukan dengan memperkaku bangunan arah lateral. Tetapi, hal ini dapat memperbesar gaya gempa yang bekerja pada bangunan. Metode yang lebih baik adalah dengan memperkecil energi gempa yang bekerja sampai pada tingkat yang tidak membahayakan bangunan. Metode ini bekerja dengan menambahkan bahan anti seismik (*seismic device*) pada bagian tertentu bangunan sesuai dengan fungsinya masing-masing (**Teruna 2005**).

Perkembangan dari perencanaan bangunan tahan gempa pada beberapa dekade terakhir telah melahirkan suatu inovasi baru yang

disebut sistem isolasi dasar. Pendekatan konsep isolasi dasar cukup berbeda dengan pendekatan desain konvensional. Struktur di atas sistem isolasi dasar umumnya direncanakan untuk tetap bersifat elastik ketika gempa kuat terjadi. Sumber disipasi energi gempa pada konsep ini bukan berasal dari kerusakan elemen namun dari disipasi energi yang dihasilkan oleh sistem isolasi dasar yang fleksibel. Perangkat isolasi dasar juga memanfaatkan mekanisme pendisipasian energi yang berbeda dengan bangunan konvensional. Pada bangunan konvensional, disipasi energi diakomodasi melalui rotasi pada elemen melalui mekanisme lentur (hubungan Momen-Rotasi). Di sisi lain, perangkat isolasi dasar mendisipasikan energi melalui mekanisme gaya geser dan regangan geser inelastik pada perangkat elemen isolasi dasar yaitu bahan karet dengan redaman tinggi system yang memanfaatkan prinsip kerja layaknya bandul harmonis sederhana dan memiliki kemampuan recentring. Dengan konsep isolasi dasar ini, struktur atas mengalami peningkatan kinerja secara signifikan dimana hal ini ditandai dengan penurunan tingkat kerusakan struktur yang terjadi *(Budiono dan setiawan 2014)*.

Ada banyak sistem isolasi yang digunakan pada base isolasi, salah satunya adalah tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB). Di tanah air kita pemakaian base isolator skala kecil sudah pernah dilakukan antara lain di Pelabuhan Ratu. Sekarang teknologi canggih ini mulai diterapkan disebuah gedung perkantoran setinggi

25 lantai di Jakarta dimana 40 (empat puluh) bantalan isolator karet sisipkan antara pondasi dan struktur gedung (*Sukamta 2016*).

Dalam analisa ini, gedung didesain didaerah gempa kecil selanjutnya desain gedung tersebut digunakan untuk daerah gempa kuat dengan menambahkan *Base Isolator* pada bangunan tersebut. kesulitan yang mungkin didapati ialah bagaimana merencanakan struktur gedung yang kuat dan stabil terhadap beban lateral terutama beban gempa. Maka dari itu diperlukan analisa lebih lanjut mengenai pengaruh beban gempa terhadap perilaku struktur bangunan gedung yang menggunakan *base isolation* maupun tanpa *base isolation* (*fixed base*). Serta diharapkan dapat mengetahui perilaku keruntuhan terhadap beban gempa yang terjadi dengan melakukan analisis statik nonlinear *pushover* pada bangunan tersebut.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka terdapat beberapa permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, antara lain:

1. Bagaimana merencanakan gedung dengan base isolator?
2. Bagaimana displacement, simpangan antar lantai, dan periode fundamental pada gedung yang ditinjau menggunakan base isolator tipe HDRB?

3. Bagaimana perbandingan pola keruntuhan dan level kinerja gedung tinjauan yang menggunakan base isolation tipe HDRB dengan setelah dianalisis dengan *pushover*?
4. Bagaimana level kinerja gedung berdasarkan FEMA 356, FEMA 440, serta ATC-40 pada gedung tinjauan yang menggunakan base isolator tipe HDRB setelah dianalisis dengan *pushover*?

### 1.3 Tujuan

Dari permasalahan yang ada di atas, terdapat beberapa tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah :

1. Merencanakan gedung dengan *base isolator*.
2. Melakukan perhitungan displacement, simpangan antar lantai, dan periode fundamental pada gedung yang ditinjau menggunakan base isolator tipe HDRB akibat gaya gempa.
3. Melakukan perhitungan pola keruntuhan dan level kinerja gedung ditinjau yang menggunakan base isolation tipe HDRB dengan gedung tanpa menggunakan HDRB (*fixed base*) setelah dianalisis dengan *pushover*.
4. Mengevaluasi level kinerja gedung berdasarkan FEMA 356, FEMA 440, serta ATC-40 pada gedung ditinjau yang menggunakan base isolator tipe HDRB setelah dianalisis dengan *pushover*.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun lingkup batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Struktur gedung yang dianalisa adalah struktur gedung beton bertulang
2. Desain Struktur awal terletak di zona Jambi kemudian desain tersebut digunakan untuk desain struktur yang terletak di zona gempa kuat yaitu Jogjakarta.
3. Beban yang dianalisa adalah beban mati, hidup, gempa.
4. Analisa non linier gempa menggunakan metode pushover
5. Perilaku struktur dievaluasi secara tiga dimensi (3D) berdasarkan analisis pushover dengan bantuan program komputer SAP 2000.
6. Analisa beban gempa menggunakan SNI 1726:2012
7. Analisa perhitungan gedung struktural beton menggunakan SNI 2847:2013
8. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain menggunakan SNI 1727:2013

## **1.5 Manfaat**

Manfaat yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Memberikan informasi dan menjadi referensi dalam mendisain gedung tahan gempa dengan menggunakan sistem base isolation.
2. Meminimalkan resiko akibat keruntuhan bangunan akibat kerusakan struktur dari adanya peristiwa gempa.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Gempa bumi (*earthquake*) adalah peristiwa alam yang waktu dan tempat terjadinya belum bisa diprediksi. Gempa dapat merusak bangunan karena gempa menimbulkan gaya inersia akibat pergerakan tanah. Selain itu gempa dapat menyebabkan kebakaran, perubahan sifat fisik dari tanah, tsunami seperti yang terjadi saat gempa Aceh dan gempa Tohoku Jepang dan dapat juga peningkatan aktivitas gunung berapi.

Getaran gempa dapat disebabkan oleh banyak hal antara lain peristiwa vulkanik, yaitu gempa yang disebabkan oleh kegiatan gunung api. Magma yang berada pada kantong di bawah gunung tersebut mendapat tekanan dan melepaskan energinya secara tiba-tiba sehingga menimbulkan getaran tanah. Kemudian diakibatkan oleh peristiwa tektonik, yaitu disebabkan oleh pergeseran lempeng tektonik. Lempeng tektonik bumi kita ini terus bergerak, ada yang saling mendekat saling menjauh, atau saling menggeser secara horizontal (*Mustofa 2010*).

Metode yang lebih baik untuk memperkecil energi gempa yang bekerja sampai pada tingkat yang tidak membahayakan bangunan dengan menambahkan bahan anti seismik (*seismic device*) pada bagian tertentu bangunan sesuai dengan fungsinya masing-masing.

Seismic devices adalah alat yang dipasang pada bangunan untuk membatasi energi atau mendissipasi energi gempa yang masuk ke dalam struktur bangunan. Seismic devices bekerja dengan merubah kekakuan, damping dan menambah massa ke struktur. Seismic device dapat digolongkan kedalam 4 sistem yaitu : sistem kontrol pasif, sistem kontrol aktif, semi aktif, sistem isolasi (*Pratiwi 2013*).



Sistem kontrol pasif tidak membutuhkan sumber energi untuk menghasilkan gaya kontrol pada struktur. Pada sistem kontrol pasif gaya kontrol dihasilkan oleh sistem itu sendiri yang timbul karena adanya gerakan relatif dari titik-titik bagian struktur sendiri. Sistem ini didesain untuk menyerap sebagian besar energi gempa yang masuk kedalam struktur dengan alat khusus yang dipasang pada bangunan. Alat khusus ini disebut damper. Tujuan dari sistem ini adalah menyediakan penyerap energi tambahan untuk mengurangi respon akibat gempa secara signifikan. Dengan menggunakan sistem ini, bangunan tersebut akan meredam energi gempa melalui deformasi inelastik atau gesekan yang terjadi pada alat tersebut, tergantung pada jenis damper yang digunakan, seperti : *Metallic yielding damper*, *Viscoelastic damper*, *Friction damper*, *Fluid damper*, *Tune mass damper*, dan *Tune liquid damper* (**Bajad dan Walite, 2014**).

Sistem kontrol aktif bekerja dengan memberikan gaya pada struktur untuk melawan gaya gempa yang diinduksi. Sistem ini dikatakan aktif karena bertumpu pada kendali komputer dalam melindungi struktur akibat gempa. Tidak seperti sistem kontrol pasif, sistem kontrol aktif membutuhkan energi luar untuk menggerakkan aktuator untuk mengasilkan gaya kontrol yang diinginkan struktur. Untuk mengukur respon struktur dibutuhkan sebuah sensor yang dihubungkan dengan komputer. Sensor akan mengirimkan informasi tentang respon struktur ke komputer dan komputer akan menentukan besarnya gaya yang diinginkan aktuator berdasarkan informasi tersebut. Kelebihan sistem kontrol aktif adalah menghasilkan respon struktur yang sesuai dengan besarnya gaya gempa yang terjadi pada bangunan, sedangkan kekurangannya adalah biaya yang tinggi karena membutuhkan energi dari luar yang cukup besar. Contoh alat damper untuk sistem aktif adalah seperti: *Active Mass Damper*, *Active Gyro Stabilizer*,

*Rotor Jet, Aerodynamic Appendages, Active Variable Stiffness (Bharadwaj 2010).*

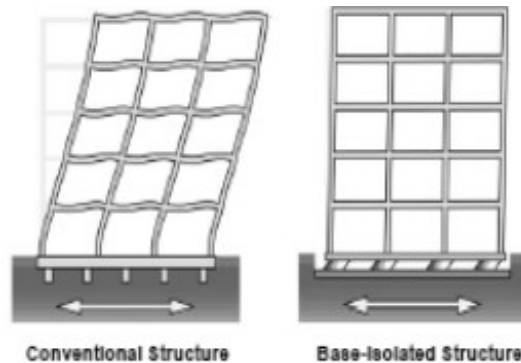
Sistem kontrol semi aktif tidak jauh berbeda dengan sistem kontrol aktif, hanya saja sistem ini menggunakan energi luar yang lebih kecil dibanding sistem kontrol aktif untuk meredam gaya gempa. Contoh alat damper untuk sistem semi aktif adalah seperti *Variable Orifice Damper, Variable Friction Damper, Controllable Fluid Damper (Bharadwaj 2010).*

Sistem isolasi merupakan sebuah sistem yang menggunakan bantalan karet berkekuatan tinggi yang dipasang diantara pondasi dan bangunan. Sistem ini bekerja dengan menjaga struktur di atasnya sebagai satu kesatuan. Pada saat terjadi gempa, masing-masing struktur bangunan akan bergetar akibat dari pergerakan tanah yang mempengaruhi pondasi bangunan. Karena pergerakan tanah yang terjadi bersifat acak maka getaran yang memasuki struktur juga tidak selaras, hal ini menyebabkan bangunan yang bersifat kaku mudah runtuh. Pada bangunan yang menggunakan base isolator, getaran yang terjadi pada pondasi akan melewati bantalan karet terlebih dahulu sebelum memasuki sistem struktur. Karena karet bersifat elastis maka arah getaran yang terjadi secara acak hanya akan mempengaruhi base isolator, sedangkan struktur di atasnya akan bergetar atau bergerak sebagai satu kesatuan struktur. (*Pratiwi dan Teruna 2013*)

## **2.2 Konsep Seismic Base Isolation**

Base isolator merupakan sebuah bantalan karet berkekuatan tinggi yang dipasang diantara pondasi dan bangunan. Sistem ini bekerja dengan menjaga struktur di atasnya sebagai satu kesatuan. Pada saat terjadi gempa, masing-masing struktur bangunan akan bergetar akibat dari pergerakan tanah yang mempengaruhi pondasi bangunan. Karena pergerakan tanah yang terjadi bersifat acak maka getaran yang memasuki struktur juga tidak selaras, hal ini menyebabkan bangunan yang bersifat kaku mudah runtuh. Pada

bangunan yang menggunakan base isolator, getaran yang terjadi pada pondasi akan melewati bantalan karet terlebih dahulu sebelum memasuki system struktur. Karena karet bersifat elastis maka arah getaran yang terjadi secara acak hanya akan mempengaruhi base isolator, sedangkan struktur di atasnya akan bergetar atau bergerak sebagai satu kesatuan struktur. Perbandingan antara bangunan konvensional dengan bangunan yang menggunakan base isolator dapat dilihat pada Gambar 2.2



**Gambar 2.1.** Prilaku gedung yang menggunakan base isolator  
(sumber : Ismail, 2012)

Kelly (2001) mendefinisikan bahwa seismic isolation sebagai bagian yang dapat memisahkan struktur atas dengan pondasi, atau bagian lain yang memang dapat memisahkan struktur atas dengan struktur bawah. Untuk selanjutnya base isolation biasanya sekarang disebut dengan seismic isolation karena memang diciptakan untuk mengantisipasi beban-beban seismic (gempa). Prinsip dari base isolation pertama sekali dikemukakan

oleh Johannes Avetican Calantarients (1909) didalam buku Naeim dan Kelly (1999). Calantarients berpendapat bahwa *“the substantial buildings can be put up in earthquake countries on this principle with perfect safety since the degree of severity of an earthquake loses its significance through the existence of the lubricate free joint”*. Untuk mereduksi gaya gempa yang mengenai bangunan maka Calantarients menyarankan untuk memasang *free joint* di antara struktur atas dan bawah sehingga bangunan dapat bergerak horizontal pada *free joint* tersebut.

Desain sistem isolation dan prosedur evaluasi menghasilkan gaya geser maximum, displasement dan gaya pada struktur untuk setiap level gempa DBE (*Design Basis Earthquake*) dan MCE (*Maximum Capable Earthquake*). Gaya elastis yang dihasilkan akan disalurkan melalui sistem isolation kepada struktur diatasnya. Meskipun gedung yang menggunakan base isolation memiliki gaya yang lebih kecil dibandingkan dengan gedung yang non-isolated, ini masih belum efektif untuk mendapatkan desain elastis pada level MCE dan terkadang diijinkan terjadi leleh pada level DBE (**Kelly 2001**).

Dalam desain gaya geser menurut SNI 1726:2012 pasal 12.5.4.1 , sistem isolation, pondasi dan semua elemen yang berada dibawah sistem isolation, didisain dengan gaya :

$$V_B = K_{Dmax} \cdot D_D \quad (2.1)$$

Keterangan :  $K_{Dmax}$  ialah kekakuan efektif maximum dari sistem isolation dan  $D_D$  massa. Dengan kata lain dengan persyaratan ini, semua elemen yang berada dibawah isolator didisain secara elastis untuk gaya maksimum ditransfer melalui sistem isolation pada level desain beban gempa. Sedangkan gaya geser minimum untuk struktur yang berada diatas isolator :

$$V_S = \frac{K_{Dmax} \cdot D_D}{R_I} \quad (2.2)$$

Ini adalah gaya elastis pada sistem isolation, yang digunakan pada elemen yang berada dibawah isolator, yang direduksi oleh faktor  $R_I$  (isolated).

Nilai  $V_S$  dihitung tidak boleh lebih kecil dari nilai dibawah ini :

1. Gaya gempa lateral untuk fixed base structure dengan berat (W) yang sama dan periode yang sama ( $T_D$ ).
2. Gaya geser sesuai dengan desain beban angin.
3. Gaya lateral yang disyaratkan pada sistem isolation dengan faktor 1,5

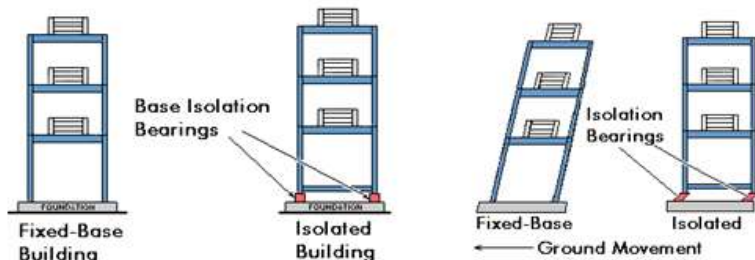
Adapun nilai R untuk fixed base dan isolated strcutre dapat dilihat pada tabel 2.1 :

**Tabel.2.1** Nilai Faktor Reduksi (R) untuk fixed base dan Isolated Structure (Kelly 2001)

Structural System	Lateral Force Resisting System	Fixed Base R	Isolated R <sub>I</sub>
Bearing Wall System	Concrete Shear Walls	4.5	2.0
	Masonry Shear Walls	4.5	2.0
Building Frame System	Steel Eccentrically Braced Frame (EBF)	7.0	2.0
	Concrete Shear Walls	5.5	2.0
	Masonry Shear Walls	5.5	2.0
	Ordinary Steel Braced Frame	5.6	1.6
	Special Steel Concentric Braced Frame	6.4	2.0
Moment Resisting Frame System	Special Moment Resisting Frame (SMRF) Steel	8.5	2.0
	Concrete	8.5	2.0
	Intermediate Moment Resisting Frame (IMRF) Concrete	5.5	2.0
	Ordinary Moment Resisting Frame (OMRF) Steel	4.5	2.0
Dual Systems	Shear Walls		
	Concrete with SMRF	8.5	2.0
	Concrete with steel OMRF	4.2	2.0
	Masonry with SMRF	5.5	2.0
	Masonry with Steel OMRF	4.2	2.0
	Steel EBF		
	With Steel SMRF	8.4	2.0
	With Steel OMRF	4.2	2.0
	Ordinary braced frames		
	Steel with steel SMRF	6.5	2.0
	Steel with steel OMRF	4.2	2.0
	Special Concentric Braced Frame		
	Steel with steel SMRF	7.5	2.0
	Steel with steel OMRF	4.2	2.0
Cantilever column Building systems	Cantilevered column elements	2.2	1.4

### 2.3 Model Matematik Struktur Isolasi Pada Bangunan

Model struktur portal dengan tiga derajat kebebasan yang mengalami beban gempa  $x_g(t)$  diperlihatkan pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



**Gambar 2.2** Deformasi Struktur Bangunan Akibat Beban Gempa Pada Struktur Konvensional Dengan Struktur Isolasi  
(Sumber : earthsci.org)

#### 2.3.1 Derajat Kebebasan (Degree Of Freedom)

Derajat kebebasan (degree of freedom) adalah derajat indenpendensi yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu sistem pada umumnya hanya diperhitungkan berpindah tempa dalam satu arah yaitu horizontal.

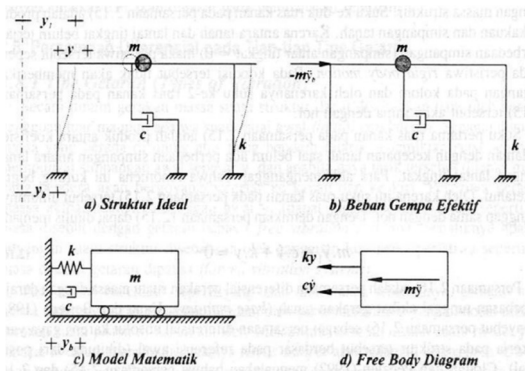
Pada kondisi dua dimensi tersebut, simpangan suatu massa pada saat  $t$  dapat dinyatakan dalam koordinat tunggal yaitu  $Y(t)$ , Struktur. Struktur seperti itu dinamakan struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF System).

Dalam model system SDOF atau derajat kebebasan tunggal, setiap massa  $m$ , kekakuan  $k$ , mekanisme kehilangan atau redaman  $c$ , dan gaya luar yang dinggap tertumpu pada elemen fisik tunggal. Struktur yang mempunyai  $n$ -derajat kebebasan atau struktur dengan derajat kebebasan banyak disebut multi degree of freedom (MDOF). Akhirnya dapat disimpulkan bahwa jumlah derajat kebebasan adalah jumlah koordinat yang diperlukan untuk menyatakan posisi suatu massa pada saat tertentu.

### 2.3.2 Persamaan Diffrensial Struktur SDOF akibat Base Motion

Beban dinamik yang umum dipakai pada analisi struktur selain beban angin adalah beban gempa. Gempa bumi akan mengakibatkan permukaan tanah bergetar yang getarannya direkam dalam bentuk aselogram. Tanah yang bergetar akan menyebabkan semua benda yang berada diatas bergetar termasuk struktur bangunan.

Untuk menyusun persamaan diferensial gerakan massa akibat gerakan tanah maka anggapan diatas tetap dipakai, yaitu tanah menyatu secara kaku dengan kolom atau kolom dianggap terjepit pada ujung bawahnya. Pada kondisi tersebut ujung bawah kolom dan tanah dasar bergerak secara bersamaan. Persamaan diferensial gerakan massa struktur SDOF akibat gerakan tanah selanjutnya dapat diturunkan dengan mengambil model seperti pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Struktur SDOF akibat *Base Motion*  
(Sumber : Clough, Pensien & Ginting, 1988)

Apabila beban dinamik  $P(t)$  bekerja ke arah kanan, maka akan terdapat perlawanan pegas, damper dan gaya redaman seperti gambar 2.3.c. gambar-gambar tersebut umumnya disebut *free body diagram*. Berdasarkan prinsip keseimbangan dinamik pada *free body diagram* tersebut, maka dapat diperoleh hubungan :

$$p(t) - f_s - f_D = m.u \text{ atau } p(t) = m.u + f_s + f_D \quad (2.3)$$

Dimana :

$$f_D = c.u \quad (2.4)$$

$$f_s = k.u$$

Apabila persamaan 2.3 disubstitusikan ke persamaan 2.4, maka akan diperoleh :

$$m.u + c.u + k.u = p(t) \quad (2.5)$$

Berdasarkan pada *free body diagram* seperti Gambar 2.3 diatas maka deformasi total yang terjadi adalah :

$$u^t(t) = u(t) + u_g(t) \quad (2.6)$$

Dari *free body diagram* yang mengandung gaya inersia  $f_I$  tampak bahwa persamaan kesetimbangannya menjadi.

$$f_I + f_D + f_s = 0 \quad (2.7)$$

Dimana inersia adalah,

$$f_I = m u^t \quad (2.8)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.3 dan 2.4 ke persamaan 2.5 dan 2.6. sehingga diperoleh persamaannya sebagai berikut :

$$m u + c u + k u = m u_g(t) \quad (2.9)$$

Persamaan diferensial gerakan tersebut umumnya disusun berdasarkan atas goyangan struktur menurut *first mode* atau *mode pertama* seperti pada gambar 2.3.



### 2.3.3 Persamaan Diffrensial Struktur MDOF

Untuk menyatakan persamaan diferensial gerakan pada struktur dengan derajat kebebasan banyak maka dipakai anggapan dan pendekatan seperti pada struktur dengan derajat kebebasan tunggal SDOF. Anggapan seperti prinsip shear building masih berlaku pada struktur dengan banyak derajat kebebasan (MDOF). Untuk memperoleh persamaan diferensial tersebut, maka tetap dipakai prinsip keseimbangan dinamik (dynamic equilibrium) pada suatu massa yang ditinjau. Untuk memperoleh persamaan tersebut maka diambil model struktur MDOF.

Berdasarkan pada kesimbangan dinamik pada *free body* diagram, disusun persamaan maka akan diperoleh :

$$m_1 u_1 + k_1 u_1 + c_1 u_1 - k_2 (u_2 - u_1) - c_2 (u_2 + u_1) - F_1(t) = 0 \quad (2.10)$$

$$m_2 u_2 - k_2 (u_2 + u_1) + c_2 (u_2 - u_1) - k_2 (u_2 - u_1) - c_2 (u_3 - u_2) - F_2(t) = 0 \quad (2.11)$$

$$m_3 u_3 + k_3 (u_2 - u_1) + c_3 (u_3 - u_2) - F_3(t) = 0 \quad (2.12)$$

Pada persamaan-persamaan tersebut diatas tampak bahwa keseimbangan dinamik suatu massa yang ditinjau ternyata dipengaruhi oleh kekakuan, redaman dan simpangan massa sebelum dan sesudahnya.

Selanjutnya dengan menyusun persamaan-persamaan diatas menurut parameter yang sam (percepatan, kecepatan dan simpangan) selanjutnya akan diperoleh :

$$m_1 u_1 + (c_1 + c_2) u_1 - c_2 u_2 + (k_1 + k_2) u_1 - k_2 u_2 = F_1(t) \quad (2.13)$$

$$m_2 u_2 + c_2 u_1 - (c_2 + c_3) u_2 + c_3 u_3 + (k_2 + k_3) u_2 - k_3 u_3 = F_2(t) \quad (2.14)$$

$$m_3 u_3 + c_3 u_2 - c_3 u_3 - k_3 u_2 + k_3 u_3 = F_3(t) \quad (2.15)$$

Persamaan-persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \\ \dot{u}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix}$$

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{F(t)\} \quad (2.16)$$

Yang mana,  $[M]$ ,  $[C]$ , dan  $[K]$  berturut-turut adalah mass matrik, damping matriks dan matriks kekakuan yang dapat ditulis menjadi :

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}, [C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

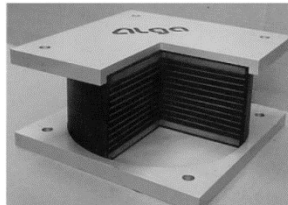
Sedangkan  $\{\ddot{u}\}$ ,  $\{\dot{u}\}$ ,  $\{u\}$  dan  $F(t)$  masing-masing adalah vector kecepatan vector kecepatan, vector simpangan dan vector beban, atau :

$$[\ddot{U}] = \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \end{Bmatrix}, [\dot{U}] = \begin{Bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \\ \dot{u}_3 \end{Bmatrix}, [U] = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \text{ dan } \{F(t)\} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix} \quad (2.20)$$

## 2.4 Mekanikal Karakteristik Dari *Base Isolation Type High Damping Rubber Bearing*

High damping rubber bearing merupakan bahan anti seismik yang dikembangkan dari karet alam yang mempunyai kekakuan

horizontal yang relatif kecil dan dicampur dengan extra fine carbon block, oil atau resin, serta bahan isian lainnya sehingga meningkatkan damping antara 10% - 20% pada shear strain 100% dengan modulus geser soft ( $G = 0,4 \text{ MPa}$ ) dan hard ( $G = 1,4 \text{ MPa}$ ). Untuk dapat menahan beban vertikal yang cukup besar, maka karet diberi lempengan baja (*Dwita 2012*).



**Gambar 2.4.** High Damping Rubber Bearing

(Sumber : Teruna, 2005)

Bantalan pada sistem isolasi seismik harus didesain dengan cermat untuk memastikan agar bangunan yang ditopangnya tetap berdiri ketika dan setelah gempa terjadi serta mendapatkan dimensi struktur optimum (ekonomis) pada bangunan yang direncanakan. Adapun tahap-tahap dalam mendesain *high damping rubber bearing* adalah:

- Menentukan berat struktur untuk masing-masing kolom ( $w$ ) dan berat struktur total ( $W_t$ ) dan reaksi-reaksi yang terjadi pada struktur melalui program analisa struktur.
- Menentukan ketebalan rubber
- Menentukan kekakuan horizontal ( $K_H$ ) aktual elastomer

$$K_H^1 = \frac{m \times \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2}{Pj. \text{bentang}} \quad (2.21)$$

- Menentukan luasan rubber dengan rumus lain kekakuan horizontal

$$K_H^1 = \frac{G_t \times A}{t_r} \Rightarrow A = \frac{K_H \times t_r}{G_t} \quad (2.22)$$

dimana:

G = modulus geser karet (MPa)

A = luas penampang elastomer (mm<sup>2</sup>)

tr = total tebal karet (mm)

- Menentukan diameter rubber

Dari hasil luasan yang diketahui dari perhitungan sebelumnya dapat diketahui diameternya.

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \Rightarrow D = \sqrt{\frac{(4A)}{\pi}} \quad (2.23)$$

- Menentukan data-data yang berkaitan dengan properti dimensi, yang dapat dilihat dari brosur yang akan digunakan.

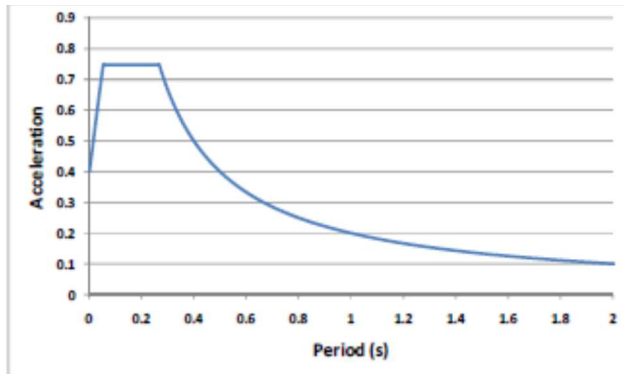
## 2.5 Analisis *Seismic Isolatoin* berdasarkan AASHTO

Untuk sistem isolasi dimana redaman efektif dinyatakan sebagai persentase, AASHTO menyisaratkan adanya konversi nilai damping efektif ke priode efektif sutruktur isolator.

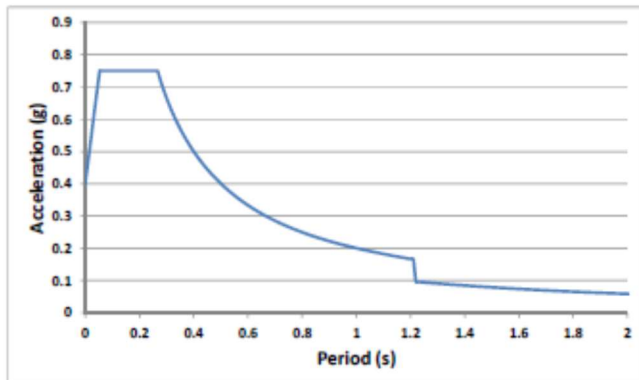
	Damping (Percentage of Critical)*						
	≤2	5	10	20	30	40	50
<i>B</i>	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7	1.9	2.0

**Gambar 2.5.** konversi nilai redaman *Seismic Isolatoin*  
(Sumer : AASHTO, 2010)

Spektrum teredam 5% dapat diukur dengan koefisien redaman (B), Penskalaan dengan koefisien redaman B harus berlaku hanya untuk periode yang lebih besar dari 0,8 Teff. Spektrum respons ground motion 5 persen harus digunakan untuk semua mode lainnya.



**Gambar 2.6.** Grafik Respon Spketrum sebelum Penskalaan dengan koefisien redaman B (*Sumber : AASHTO, 2010*)



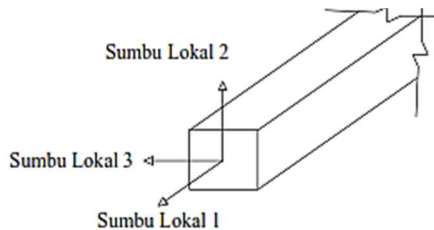
**Gambar 2.7.** Grafik Respon Spketrum setelah Penskalaan dengan koefisien redaman B (*Sumber : AASHTO, 2010*)

## 2.6 Properti Sendi Plastis

Struktur gedung apabila menerima beban gempa pada tingkatan atau kondisi tertentu, akan terjadi sendi plastis (hinge) pada balok pada gedung tersebut. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur balok dan kolom menahan gaya dalam. Perencanaan suatu bangunan harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat balok lemah. Apabila terjadi suatu keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh dahulu, maka struktur langsung hancur.

### 2.6.1 Hinge Properti Balok

Data hinge properties dimasukkan pada penampang daerah tumpuan balok yaitu lokasi dimana sendi plastis diharapkan terjadi. Masing-masing penampang balok dimodelkan dengan pilihan model moment M3, yang artinya sendi plastis hanya terjadi karena momen searah sumbu lokal 3. Posisi sumbu lokal 3 dapat dilihat pada gambar 2.6.

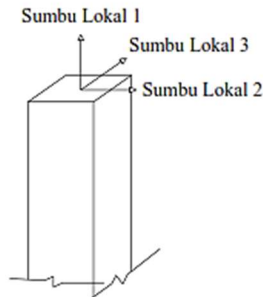


**Gambar. 2.8** Posisi Sumbu lokal Balok Struktur pada Program SAP 2000 (*Sumber : Dewobroto, 2013*)

### 2.6.2 Hinge Properti Kolom

Data hinge properties untuk kolom adalah Model P-M2-M3, yang mempunyai arti bahwa sendi plastis terjadi karena interaksi gaya aksial ( $P$ ) dan momen ( $M$ ) Sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3. Dalam studi ini setiap kolom pada bangunan yang ditinjau memiliki momen sumbu lokal 2 yang sama dengan kapasitas momen sumbu lokal 3, hal ini disebabkan karena dimensi kolom

berbentuk persegi dan tulangan kolom yang ada tersebar pada keempat sisinya secara merata. Posisi sumbu lokal 2 dan sumbu lokal 3 pada kolom struktur dapat dilihat pada gambar 2.7.

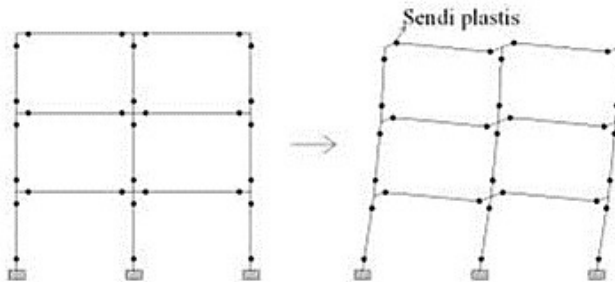


**Gambar 2.9** Posisi Sumbu lokal Kolom Struktur pada Program SAP 2000

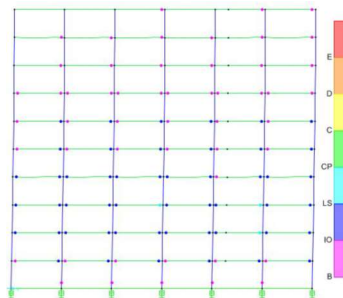
(Sumber : Dewobroto, 2013)

#### 2.6.3 Penentuan Letak Sendi Plastis

Setelah pendefinisian data hinge propertis balok dan kolom adalah penentuan letak terjadinya sendi plastis yang diinginkan. Posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih balok, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih balok. Kedua ini terletak dimuka kolom. Sama halnya dengan kolom, posisi 0 menyatakan posisi awal dari panjang bersih kolom, sedangkan posisi 1 menyatakan posisi akhir dari panjang bersih kolom. Kedua posisi ini terletak pada tepi muka balok.



**Gambar 2.10** Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom  
(Sumber : Dewobroto, 2005)



**Gambar 2.11** Sendi plastis yang terjadi pada balok dan kolom  
struktur Base Isolator (Sumber : Iqbal, 2015)

## 2.7 Performance Based Design

Saat ini, sebagian besar bangunan tahan gempa direncanakan dengan prosedur yang ditulis dalam peraturan perencanaan bangunan (*building codes*). Peraturan dibuat untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi, dan untuk menghindari atau mengurangi kerusakan atau kerugian harta benda terhadap gempa sedang yang sering terjadi. Meskipun demikian, prosedur yang digunakan dalam peraturan tersebut tidak dapat secara langsung menunjukkan



kinerja bangunan terhadap suatu gempa yang sebenarnya, kinerja tadi tentu terkait dengan resiko yang dihadapi pemilik bangunan dan investasi yang dibelanjakan terkait dengan resiko diambil.

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan (*upgrade*) bangunan yang sudah ada , dengan pemahaman yang realistik terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang.

Proses perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*), ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi. Perencana selanjutnya dapat mengatur ulang resiko kerusakan yang dapat diterima sesuai dengan resiko biaya yang dikeluarkan.

Hal penting dari perencanaan berbasis kinerja adalah sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas, sehingga pemilik, penyewa , asuransi, pemerintahan atau penyandang dana mempunyai kesempatan untuk menetapkan kondisi apa yang dipilih, selanjutnya ketetapan tersebut digunakan insinyur perencana sebagai pedomannya.

Sasaran kinerja terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan dan taraf kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. Mengacu pada FEMA-273 (1997) yang menjadi acuan klasik bagi perencanaan berbasis kinerja maka kategori level kinerja struktur , adalah:

a. *Operasional (O)*

Pada level ini terjadinya pelelehan pertama pada struktur. Tidak ada kerusakan pada struktur dan non struktural. Dan gedung masih dapat dipakai secara normal.

b. *Immediate Occupancy (IO)*

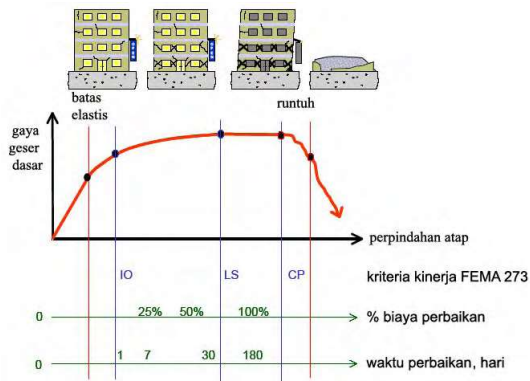
Pada level ini tidak ada kerusakan yang terjadi pada komponen struktur namun hanya kerusakan kecil yang terjadi pada komponen non struktur gedung. Kekuatan dan kekakuannya mendekati sama dengan kondisi sebelum gempa. Bangunan dapat tetap berfungsi.

c. *Life Safety (LS)*

Pada level ini terjadi kerusakan pada komponen struktur dan non struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan dapat berfungsi lagi jika sudah mengalami perbaikan dan mungkin tidak ekonomis.

d. *Collapse Prevention (CP)*

Pada level ini terjadi kerusakan yang parah (*severe*) pada struktur dan telah terjadi kegagalan pada komponen nonstruktural, sehingga kekuatan dan kekakuanya berkurang banyak, bangunan hampir runtuh (*near collapse*). Kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.



**Gambar 2.12** Kurva Performance Levels (Tingkat Kinerja) dari Hubungan Gaya-Perpindahan Suatu Bangunan  
(Sumber : Dewobroto, 2005)

Gambar 2.8 menjelaskan secara kualitatif level kinerja (*performance levels*) FEMA 273 yang digambarkan bersama dengan suatu kurva hubungan gaya-perpindahan yang menunjukkan perilaku struktur secara menyeluruh (global) terhadap pembebanan lateral. Kurva tersebut dihasilkan dari analisa statik non-linier khusus yang dikenal sebagai analisa pushover, sehingga disebut juga sebagai kurva pushover.

## 2.8 Analisa Statik Nonlinear (*Pushover Analysis*)

Analisis pushover adalah suatu cara untuk menganalisis struktur dengan beban statik tertentu dalam arah lateral yang diaplikasikan sepanjang ketinggian struktur dan ditingkatkan sampai simpangan pada puncak atas struktur mencapai simpangan target. Dalam proses *pushover*, satu sendi plastis akan mencapai kondisi leleh pertama yang kemudian diikuti dengan kondisi leleh

pada sendi-sendi plastis lainnya. Hal ini terus berlanjut sampai akhirnya, simpangan pada puncak struktur mencapai simpangan target atau struktur memasuki kondisi tidak stabil. Proses pushover bisa dilakukan dengan prosedur *load-controlled* atau *displacement-controlled* (Oguz 2005). Prosedur *load-controlled* digunakan jika beban yang diaplikasikan telah diketahui nilainya. Misalnya, beban gravitasi bisa diaplikasikan dalam *pushover load-controlled*. Prosedur *displacement-controlled* biasanya digunakan jika beban yang bisa ditahan oleh suatu struktur belum diketahui dengan pasti. Sehingga, beban tersebut ditingkatkan sampai struktur mencapai suatu nilai simpangan target (**Aisyah dan Megantara 2011**).

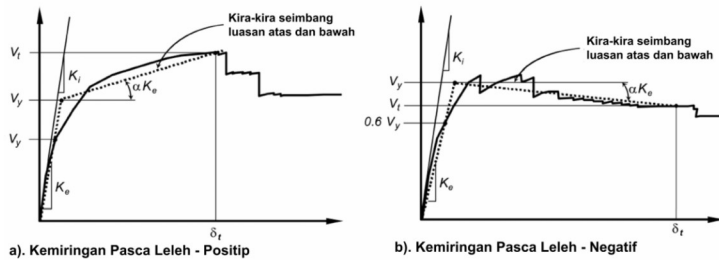
Analisa pushover dilakukan dengan memberikan beban lateral pada pola tertentu sebagai simulasi beban gempa, dan harus diberikan bersama-sama dengan pengaruh kombinasi beban mati dan tidak kurang dari 25% dari beban hidup yang disyaratkan. Beban lateral harus diberikan pada pusat massa untuk setiap tingkat. FEMA 273 mensyaratkan minimal harus diberikan dua pola beban yang berbeda sebagai simulasi beban gempa yang bersifat random, sehingga dapat memberikan gambaran pola mana yang pengaruhnya paling jelek. Selanjutnya beban tersebut harus diberikan secara bertahap dalam satu arah (monotonik).

Kriteria evaluasi level kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi ketika perpindahan titik kontrol sama dengan target perpindahan.

Jadi parameter target perpindahan sangat penting peranannya bagi perencanaan berbasis kinerja. Ada beberapa cara menentukan target perpindahan, dua yang cukup terkenal adalah *Displacement Coeficient Method* atau Metoda Koefisien Perpindahan (FEMA 356, FEMA 440) dan *Capacity Spectrum Method* atau Metoda Spektrum Kapasitas (ATC 40) (**Dewobroto 2005**).

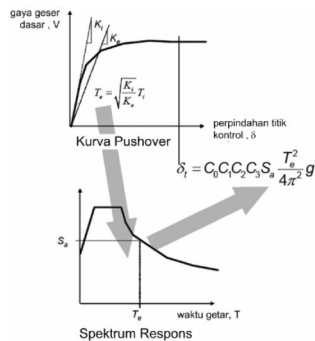
### 2.8.1 Metoda Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Merupakan metoda utama yang terdapat dalam FEMA 356 untuk prosedur statik nonlinier. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien  $C0$ ,  $C1$ ,  $C2$  dan  $C3$  sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastis) yang disebut “target perpindahan”,  $\delta T$ .



**Gambar 2.13.** Perilaku Pasca Leleh Sistem Struktur  
(FEMA 356, 2000)

Ilustrasi berikut dapat memberikan gambaran secara jelas penerapan Metode Koefisien Perpindahan dalam menetapkan target perpindahan dari struktur yang akan dievaluasi.

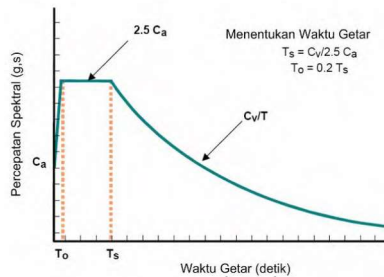


**Gambar 2.14.** Skematik Prosedur Metode Koefisien  
Perpindahan (FEMA 440)

### 2.8.2 Metoda Spektrum Kapasitas

Merupakan metoda utama ATC 40 dimaksudkan untuk konstruksi beton bertulang, dalam Metoda Spektrum Kapasitas proses dimulai dengan menghasilkan kurva hubungan gaya perpindahan yang memperhitungkan kondisi inelastis struktur. Proses tersebut sama dengan Metode Koefisien Perpindahan, kecuali bahwa hasilnya diplot-kan dalam format ADRS (*acceleration displacement response spectrum*). Format tersebut adalah konversi sederhana dari kurva hubungan gaya geser dasar dengan perpindahan lateral titik kontrol dengan menggunakan properti dinamis sistem dan hasilnya disebut sebagai kurva kapasitas struktur. Gerakan tanah gempa juga dikonversi ke format ADRS. Hal itu menyebabkan kurva kapasitas dapat di-plot-kan pada sumbu yang sama sebagai gaya gempa perlu. Pada format tersebut waktu getar ditunjukkan sebagai garis radial dari titik pusat sumbu. Waktu getar ekuivalen,  $T_e$ , dianggap sebagai secant waktu getar tepat dimana gerakan tanah gempa perlu yang direduksi karena adanya efek redaman ekuivalen bertemu pada kurva kapasitas. Karena waktu getar ekuivalen dan redaman merupakan fungsi dari perpindahan maka penyelesaian untuk mendapatkan perpindahan inelastik maksimum (titik kinerja) adalah bersifat iteratif. ATC-40 menetapkan batas redaman ekuivalen untuk mengantisipasi adanya penurunan kekuatan dan kekakuan yang bersifat gradual.

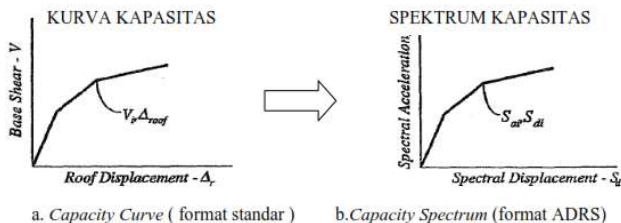
Metode ini secara khusus telah built-in dalam program SAP2000, proses konversi kurva *pushover* ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Data yang perlu dimasukkan cukup memberikan kurva Respons Spektrum Rencana dengan parameter berikut :



**Gambar 2.15.** Penentuan Titik Kinerja menurut Metode Spektrum Kapasitas  
(Sumber : ATC,1996)

Kurva berbentuk nonlinier, yang mana menunjukkan peningkatan beban pasca-elastik sampai dengan kondisi plastik. Analisis *pushover* relevan dilakukan pada model struktur dengan klasifikasi beraturan, karena beban statik diaplikasikan pada pusat massa tiap lantai (Vicky 2013, lihat juga pada Pranata dan Wijaya 2008).

Metode ini sederhana namun informasi yang dihasilkan sangat berguna karena mampu menggambarkan respons inelastic bangunan. Analisis ini memang bukan cara yang terbaik untuk mendapatkan jawaban terhadap masalah analisis dan desain, tetapi relative sederhana untuk mendapatkan respons nonlinier struktur. (Anandityo 2011). *Capacity curve* hasil *pushover* diubah menjadi *capacity spectrum* seperti Gambar 2.13.



**Gambar 2.16.** Modifikasi *Capacity Curve* menjadi *Capacity Spectrum* (Sumber : ATC,1996)

### **2.8.3 Metoda Koefisien Perpindahan Yang Diperbaiki (FEMA 440)**

Adanya dua macam metode evaluasi non-linier yaitu Metode Koefisien Perpindahan (FEMA273/356) dan Metode Spektrum Kapasitas (ATC 40) kadang-kadang menimbulkan keraguan karena hasilnya belum tentu sama . Untuk mengantisipasi hal tersebut dilakukan evaluasi melalui ATC 55 Project dan menghasilkan FEMA 440 : *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures* , yang mana kedua metode tersebut dimodifikasi.

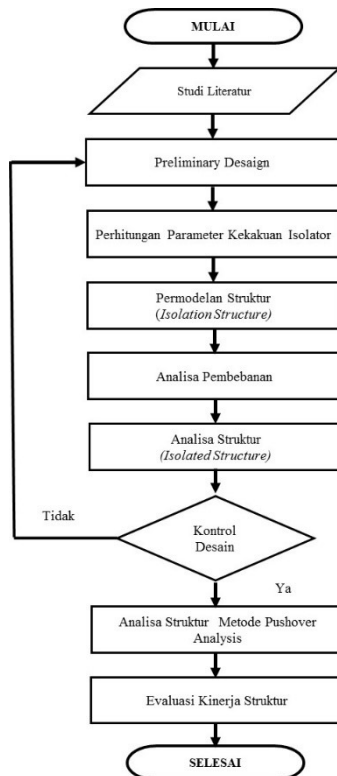


## BAB III

### METODOLOGI

#### 3.1 Bagan Diagram Alir Penyelesaian Tugas Akhir

Dalam Tugas Akhir ini akan digambarkan skema bagan alir sebagai berikut :



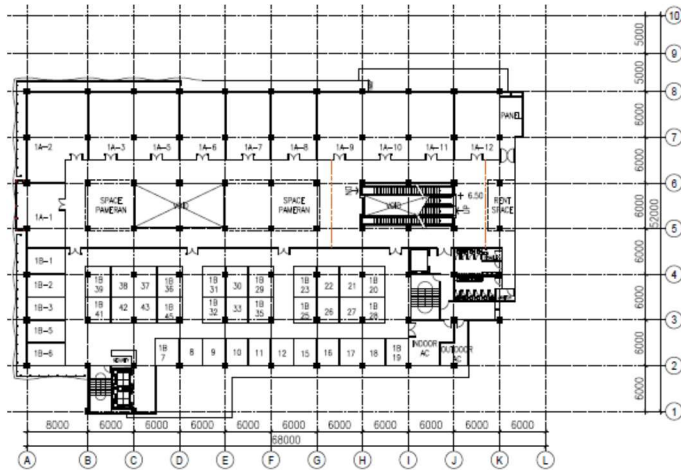
**Gambar 3.1** Diagram Alir Perencanaan Tugas Akhir

## 3.2 Uraian Diagram Alir

### 3.2.1 *Pengumpulan Data*

Pengumpulan data dan informasi bangunan bangunan akan dijelaskan pada sub bab ini :

- Data Umum Bangunan
  - Nama Gedung : J-Tos Jogjakarta
  - Lokasi : Jogjakarta
  - Fungsi : Pusat Perbelanjaan
  - Tinggi bangunan : 34 m (8 Lantai)
  - Panjang bangunan : 60 m
  - Lebar bangunan : 42 m
  - Zona Gempa : Areal Jogjakarta
  - Struktur Utama : Beton Bertulang
- Data Bahan
  - Kolom : beton  $f'_c = 35$  MPa, BJTD U40
  - Balok : beton  $f'_c = 30$  MPa, BJTD U40
  - Pelat : beton  $f'_c = 30$  MPa, BJTD U40



**Gambar 3.2** Denah bangunan

### 3.2.2 Studi Literatur

Mencari literatur dan peraturan yang berhubungan dengan materi tugas akhir ini, serta mencari perumusan yang dapat dijadikan acuan dan penyelesaian tugas akhir ini. Untuk buku atau literatur yang dapat digunakan dalam mendesain base isolation adalah seperti buku *Base Isolation Of Structure* by Trevor E Kelly atau buku *Design Of Seismic Isolated Structure* by James M Kelly., PhD dan Farzan Naeim, PhD., S.E dan untuk tata cara perencanaan struktur beton bertulang untuk bangunan gedung mengacu pada SNI 2847:2013, untuk pembebanan mengacu pada SNI 1727:2013 (Beban minimum untuk perancangan bangunan), untuk perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung mengacu pada SNI 1726:2012.

### 3.2.3 Preliminary Design

Preliminary Design yaitu menentukan ukuran kolom, balok dan pelat dari rangka pemikul momen, rangka ini selain difungsikan untuk menahan beban grafitasi juga berperan dalam menahan beban lateral akibat beban gempa dan angin.

#### 1. Pelat Lantai

Persyaratan tebal minimum pelat tanpa memperhitungkan lendutan yang terjadi diatur dalam SNI2847:2013 pasal 9.5.2 dan 9.5.3. Ketentuan untuk pelat lantai satu arah dapat dilihat pada Tabel 3.1. Sedangkan ketentuan untuk pelat tanpa balok interior dijelaskan dalam Tabel 3.2. Ketebalan pelat minimum tanpa balok interior yang memiliki  $l_n/S_n < 2$  tidak boleh kurang dari 100 mm untuk pelat dengan *drop panel* dan 125 mm untuk pelat tanpa *drop panel*. Untuk pelat dua arah dengan balok pendukung di semua sisinya ketentuannya adalah :

- (1) Untuk  $\alpha_m \leq 0,2$  dipakai persyaratan pelat tanpa balok interior
- (2) Untuk  $0,2 < \alpha_m \leq 2$  tebal minimum pelat ditentukan dengan Persamaan (3-1).

$$h = \frac{\ell_n \left( 0.8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0.2)} \quad (3-1)$$

dan tidak boleh kurang dari 120 mm.

- (3) Untuk  $\alpha_m < 2$  tebal minimum pelat ditentukan dengan Persamaan (3-2).



## 2. Balok

Tinggi minimum balok tanpa memperhitungkan lendutan ditentukan berdasarkan Tabel 3.1. Lebar balok diestimasikan berkisar antara  $1/2 - 2/3$  tinggi balok.

## 3. Kolom

Preliminary design kolom ditetapkan berdasarkan Persamaan (3-3).

$$A = 3 \frac{P_u}{f'_c} \quad (3-3)$$

$A$  = Luas penampang kolom

$P_u$  = Gaya aksial ultimate

$f'_c$  = Mutu beton

### 3.2.4 Penentuan Kekakuan Isolator

Dengan diperolehnya parameter saat analisa *fixed-base* (Periode natural bangunan dan rekasi perletakkan) maka akan ditentukan nilai kekakuan horizontal (Kh) dari *Isolator Device*. Parameter ini dibutuhkan saat memodelkan struktur yang menggunakan *base isolation*. Adapun tahap-tahap dalam mendesain *high damping rubber bearing* adalah:

- Menentukan berat struktur untuk masing-masing kolom (w) dan berat struktur total (Wt) dan reaksi-reaksi yang terjadi pada struktur melalui program analisa struktur.
- Menentukan ketebalan rubber
- Menentukan kekakuan horizontal (KH) aktual elastomer

$$K_H^1 = \frac{m \times \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2}{Pj.bentang} \quad (3-4)$$

- Menentukan luasan rubber dengan rumus lain kekakuan horizontal

$$K_H^1 = \frac{G_t \times A}{t_r} \Rightarrow A = \frac{K_H \times t_r}{G_t} \quad (3-5)$$

dimana:

G = modulus geser karet (MPa)

A = luas penampang elastomer (mm<sup>2</sup>)

tr = total tebal karet (mm)

- Menentukan diameter rubber  
Dari hasil luasan yang diketahui dari perhitungan sebelumnya dapat diketahui diameternya.

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \Rightarrow D = \sqrt{\frac{(4A)}{\pi}} \quad (3-6)$$

- Menentukan data-data yang berkaitan dengan properti dimensi, yang dapat dilihat dari brosur yang akan digunakan.

### 3.2.5 Permodelan Struktur 3D

Setelah dilakukan preliminary design, maka hasil dari preliminary design tersebut di aplikasikan kedalam bentuk permodelan struktur 3D dengan bantuan software SAP2000.

### 3.2.6 Analisa Pembebanan

- **Beban Mati**

Beban mati terdiri atas berat sendiri seluruh elemen struktur dan perlengkapan permanen pada gedung seperti dinding, lantai, atap, plafon dan partisi. Dalam analisisnya, beban ini akan di Input pada struktur berupa beban tributary yang langsung akan didistribusikan kebalok yang berdasarkan SNI 1727:2013. Beban mati terdiri dari dua macam yaitu :

- a. **Berat Sendiri (*Self Weight*)**

Berat sendiri yaitu beban yang berasal dari elemen utama struktur seperti balok, kolom, pelat. Berat sendiri dihitung berdasarkan berat satuan material dan volumenya. Berat sendiri biasanya ditentukan melalui proses iterasi. Perancang harus mengestimasi ukuran awal dari elemen, melakukan analisis, kemudian melakukan verifikasi apakah ukuran yang digunakan sudah memenuhi atau belum.

- Berat volume beton :  $23,52 \text{ kN/m}^3$  (SNI 1727:2013)
- b. **Berat Sendiri Tambahan (*Superimposed Dead Load, SDL*)**  
 Berat sendiri tambahan yaitu beban mati yang ditambahkan pada struktur utama setelah selesai dibangun dan bersifat permanen seperti keramik dan semua komponen nonstruktural.
  - Beban lapisan waterproofing =  $0,05 \text{ kN/m}^2$  (ASCE 7-2002 Table C3-1, *Waterproofing Membranes Liquid Applied*)
  - Beban keramik + spesi =  $1,10 \text{ kN/m}^2$  (ASCE 7-2002 Table C3-1 *Ceramic, or quarry tile (19 mm) on 25 mm mortar bed*)
  - Beban ducting mekanikal =  $0,19 \text{ kN/m}^2$  (ASCE 7-2002 Table C3-1, *Mechanical Duct Allowance*)
  - Beban Plafon =  $0,05 \text{ kN/m}^2$  (ASCE 7-2002 Table C3-1, *Acoustical fiberboard*)



- Beban penggantung langit-langit =  $0,10 \text{ kN/m}^2$  (ASCE 7-2002 Table C3-1 , *Suspended Steel Channel System*)

- Beban Hidup

Beban hidup terdiri dari beban yang diakibatkan oleh pemakaian gedung dan tidak termasuk beban mati, beban konstruksi atau beban akibat fenomena alam seperti beban angin, beban salju, beban hujan, beban gempa ataupun beban akibat banjir. Beban hidup akan di input kedalam struktur berupa beban tributary yang langsung didistribusikan melalui balok yang berdasarkan SNI 1727:2013.

Pada bangunan perkantoran atau pada gedung lainnya, perlu diperhitungkan adanya berat dinding partisi meskipun tidak terdapat pada gambar rencana. Berat partisi tidak boleh lebih kecil dari  $0,72 \text{ kN/m}^2$ , kecuali jika beban hidup rencana pada ruangan itu lebih besar dari  $3,83 \text{ kN/m}^2$  maka beban akibat partisi tidak perlu diperhitungkan (SNI1727:2013 pasal 4.3.2).

- Beban hidup atap =  $0,96 \text{ kN/m}^2$  (SNI1727:2013Tabel 4-1)
- Beban hidup lantai kantor =  $2,4 \text{ kN/m}^2$  (SNI1727:2013 Tabel 4-1)
- Beban hidup tangga =  $4,97 \text{ kN/m}^2$  (SNI1727:2013 Tabel 4-1)

- Beban Gempa

Analisa pembebanan gempa pada gedung ini mengacu pada SNI 1726:2012, dengan tinjauan lokasi gempa dari daerah Padang. Adapun langkah-langkahnya yaitu:

1) Menetapkan kategori risiko bangunan berdasarkan Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Kategori Risiko Bangunan (SNI 1726:2012 Tabel 1)

<b>Pemanfaatan Bangunan Atau Struktur</b>	<b>Kategori Risiko</b>
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk kategori risiko I, III, dan IV	II
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan</p> <p>Gedung dan non gedung, yang tidak termasuk kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/ atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan.</p> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang ditetapkan instansi yang berwenang dan cukup</p>	III

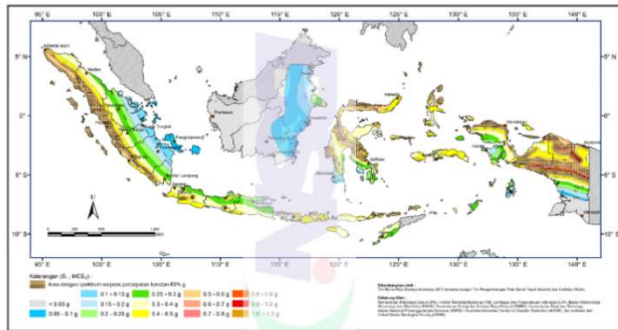
menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting. Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk dalam kategori risiko IV.	IV

2) Menentukan faktor keutamaan gempa berdasarkan Tabel 3.4.

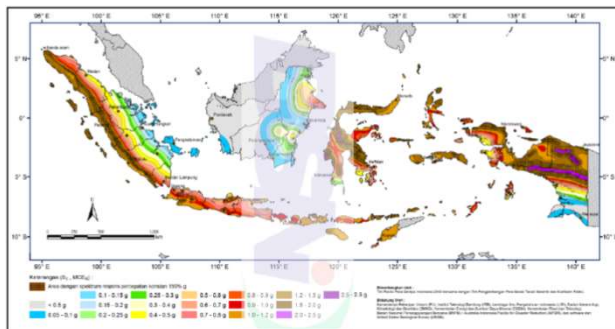
**Tabel 3.4** Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726:2012 Tabel 2)

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I	1,00
II	1,00
III	1,25
IV	1,50

3) Menentukan parameter percepatan gempa terpetakan ( $S_s$ , dan  $S_I$ ) berdasarkan Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



**Gambar 3.3** Peta Untuk  $S_1$  ( $T=1s$ , probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%))



**Gambar 3.4** Peta Untuk  $S_s$  ( $T=0.2s$ , probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (redaman 5%))

## 4) Menentukan klasifikasi situs berdasarkan Tabel 3.5.

**Tabel 3.5** Klasifikasi Situs (SNI 1726:2012 Tabel 3)

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{60}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40$ persen, dan Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa			
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti Pasal 6.9.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah tegu dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $s_u < 50$ kPa		

5) Menentukan koefisien situs ( $F_a$  dan  $F_v$ ) berdasarkan Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.**Tabel 3.6** Koefisien Situs  $F_a$  (SNI 1726 : 2012 Tabel 4)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS <sup>b</sup>				

**CATATAN :**

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier  
 (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat Pasal 6.9.1

**Tabel 3.7** Koefisien Situs  $F_v$  (SNI 1726:2012 Tabel 5)

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakan pada periode 1 detik, $S_T$				
	$S_T \leq 0,1$	$S_T = 0,2$	$S_T = 0,3$	$S_T = 0,4$	$S_T \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

**CATATAN :**(a) Untuk nilai-nilai antara  $S_T$  dapat dilakukan interpolasi linier(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat **Pasal 6.9.1**

- 6) Menghitung parameter percepatan desain spektral dengan Persamaan (3-4) dan (3-5)  
(SNI 1726:2012 pasal 6.2 dan pasal 6.3).

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3-7)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3-8)$$

dengan :

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (3-9)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (3-10)$$

- 7) Menentukan kategori desain seismik berdasarkan Tabel 3.8 dan Tabel 3.9.

**Tabel 3.8** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek (SNI 1726:2012 Tabel 6)

Nilai $S_{DS}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

**Tabel 3.9** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 s (SNI 1726:2012 Tabel 7)

Nilai $SDI$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$SDI < 0,067$	A	A
$0,067 \leq SDI < 0,133$	B	C
$0,133 \leq SDI < 0,20$	C	D
$0,20 \leq SDI$	D	D

8) Menentukan koefisien modifikasi respon ( $R$ ), faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ), dan faktor kuat lebih sistem ( $\Omega_0$ ) berdasarkan SNI 1726:2012 Tabel 9

9) Melakukan analisis statik ekuivalen

a) Menentukan periode fundamental perkiraan,  $T_a$ , dengan Persamaan (3-8) (SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.1).

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (3-11)$$

Keterangan :

$C_t$ , dan  $x$  = koefisien parameter waktu getar perkiraan (Tabel 3.12)

$h_n$  = tinggi struktur

Dalam tugas akhir menggunakan yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis modal respon spektrum.

**Tabel 3.10.** Nilai Koefisien Waktu Getar Perkiraan  $C_t$  Dan  $x$  (SNI 1726:2012 Tabel 15)

<b>Tipe Struktur</b>	<b><math>C_t</math></b>	<b><math>x</math></b>
Sistem rangka pemikul momen dengan rangka menahan 100% gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa :		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangak baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

b) Menentukan batas periode struktur dengan Persamaan (3-9).

$$T \leq C_u \times T_a \quad (3-12)$$

Keterangan :

$T_a$  = periode fundamental perkiraan

$C_u$  = koefisien untuk batas atas periode hasil perhitungan (Tabel 3.13)



**Tabel 3.11.**Koefisien Untuk Batas Atas Periode Hasil Perhitungan (SNI-1726:2012 Tabel 14)

Parameter Percepatan Respon Spektral Desain Pada 1 s, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

- c) Menghitung koefisien respon seismik dengan Persamaan (3-10) (SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1).

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3-13)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = parameter akselerasi desain spektral periode pendek

$R$  = koefisien modifikasi respon

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

nilai  $C_s$  di atas tidak perlu melebihi nilai Persamaan (3-11).

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3-14)$$

Dan nilai  $C_s$  tidak boleh kurang dari nilai Persamaan (3-12)

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \quad (3-15)$$

Untuk struktur dengan lokasi di mana  $S_1 \geq 0,6$  g, nilai  $C_s$  tidak boleh kurang dari nilai Persamaan (3-13)

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-16)$$

Keterangan :

$S_{DI}$  = parameter percepatan desain spektral periode 1 s

$T$  = periode fundamental struktur

$S_I$  = parameter percepatan desain spektral maksimum

- d) Menghitung gaya geser dasar seismik dengan Persamaan (3-14) (SNI 1726:2012 pasal 7.8.1).

$$V = C_s W \quad (3-17)$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respon seismik

$W$  = berat efektif seismik

- e) Menghitung distribusi vertikal gaya gempa dengan Persamaan (3-15) (SNI 1726:2012 pasal 7.8.3)

$$F_x = C_{vx} V \quad (3-18)$$

dengan :

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3-19)$$

Keterangan :

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertikal

$w_i$  dan  $w_x$  = Bagian dari berat total seismik efektif struktur (W) yang ditempatkan pada tingkat i atau x

$h_i$  dan  $h_x$  = Tinggi dari dasar ke tingkat  $i$  atau  $x$

$k$  = Eksponen yang terkait dengan periode struktur yang nilainya sebagai berikut :

- untuk struktur dengan periode  $\leq 0,5$  s,  $k=1$
- untuk struktur dengan periode  $\geq 2,5$  s,  $k=2$
- untuk struktur dengan periode antara 0,5 s sampai 2,5 s,  $k=2$  atau ditetapkan dengan interpolasi antara 1 dan 2

f) Menghitung distribusi horizontal gaya di tiap lantai dengan persamaan (3-17) (SNI 1726:2012 pasal 7.8.4)

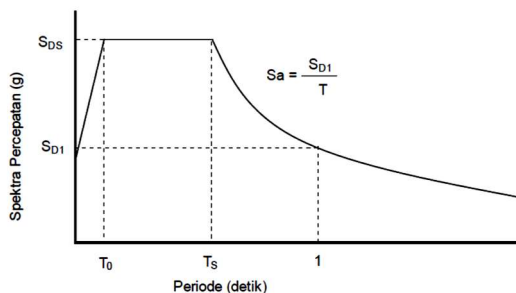
$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3-20)$$

Keterangan :

$F_i$  = bagian dari gaya geser dasar seismik yang terjadi pada tingkat  $i$

11) Melakukan analisis modal respon spektrum

Analisis modal respon spektrum dilakukan menggambar grafik respon spektrum rencana ke dalam program analisis struktur. Ketentuan mengenai penggambaran grafik respon spektrum dijelaskan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5.** Ketentuan Penggambaran Grafik Respon Spektrum

(Sumber : SNI 1726:2012)

Pada periode  $T < T_0$ , respon spektra percepatan :

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3-21)$$

Pada periode  $T_0 \leq T \leq T_s$ , respon spektra percepatan :

$$S_a = S_{DS} \quad (3-22)$$

Pada  $T > T_s$ , respon spektra percepatan :

$$S_a = \frac{S_{DI}}{T} \quad (3-23)$$

Dengan :

$$T_0 = \frac{0,2 S_{DI}}{S_{DS}} \quad (3-24)$$

$$T_s = \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \quad (3-25)$$

- Kombinasi Pembebanan

Pembebanan struktur beton harus mampu memikul semua beban kombinasi pembebanan di bawah ini berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 4.2.2:

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
3.  $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } R) + 0,5(L \text{ atau } 0,5W)$
4.  $1,2D + 1,0 W + L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$
5.  $1,2D + 1,0E + L$
6.  $0,9D + 1,0W$
7.  $0,9D + 1,0E$

Keterangan :

D	: Beban Mati
Lr	: Beban Hidup Pada Atap
L	: Beban Hidup
R	: Beban Hujan
W	: Beban Angin
E	: Beban Gempa

### 3.2.7 *Analisa Struktur*

Setelah semua pembebanan di input kedalam struktur dengan bantuan program SAP2000, maka selanjutnya akan dilakukan analisa struktur guna memperoleh :

- ✓ Periode Natural Struktur.
- ✓ Reaksi Perletakkan Struktur
- ✓ Percepatan Struktur
- ✓ Displacement/ Drift Story

Hasil analisa struktur diatas bertujuan untuk :

- Memastikan bahwa struktur yang akan dimodelkan dengan base isolation, sudah merupakan struktur yang stabil dan kuat tanpa melampaui ketentuan- ketentuan yang telah ditetapkan berdasarkan SNI atau peraturan yang lainnya.
- Menentukan parameter kekakuan *base isolation* yang akan digunakan pada pemodelan *Isolated-Structure*.

### 3.2.8 *Kontrol Desain*

#### - **Kontrol Partisipasi Massa**

Analisis harus dilakukan untuk menentukan mode alami dari getaran untuk struktur yang dianalisis. Analisis harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus sekurang-kurangnya 90% (SNI 1726:2012 pasal 7.9.1).

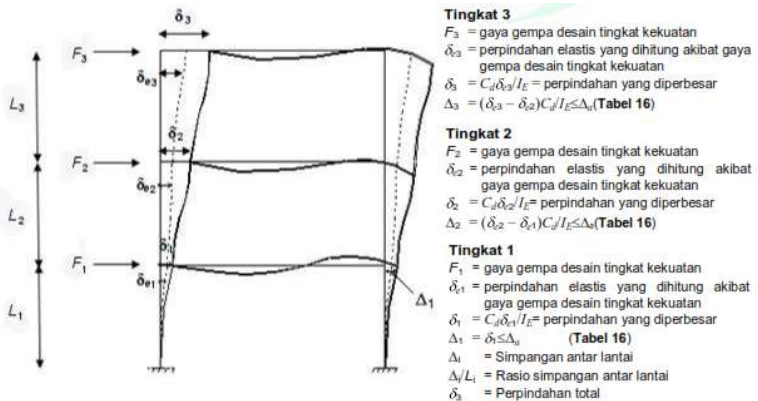
### - Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum

Nilai gaya geser dasar hasil analisis respons spektrum,  $V_I$ , sebaiknya tidak kurang dari 85% nilai gaya geser dasar hasil analisis statik ekuivalen,  $V$ . Bila nilai  $V_I < V$ , nilai  $V_I$  harus dikalikan dengan  $0,85 V/V_I$  (SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1).

### - Kontrol Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat rencana harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Besarnya defleksi pada tingkat  $x$ ,  $\delta_x$ , dapat dihitung dengan Persamaan (3-23) (SNI 1726:2012 pasal 7.8.6). Sementara untuk perhitungan simpangan antar lantai ditunjukkan pada Gambar 3.6. Nilai simpangan antar lantai ini tidak boleh melebihi simpangan antar lantai izin,  $h_{sx}$ , pada Tabel 3.14.

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (3-26)$$



**Gambar 3.6** Penentuan Simpangan Antar Tingkat  
 (Sumber : SNI 1726:2012)

**Tabel 3.14** Simpangan Antar Tingkat Izin (SNI-1726-2012 Tabel 16)

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dari dasar, dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

### 3.2.9 Analisa Struktur dengan Pushover Analysis

Pushover Analysis adalah menganalisa struktur dengan beban statik tertentu dalam arah lateral yang diaplikasikan sepanjang ketinggian struktur dan ditingkatkan sampai simpangan pada puncak atas struktur mencapai simpangan target. Pada struktur *fixed base* ini beban yang diaplikasikan adalah beban gempa yang

terjadi pada lokasi gedung itu berada, kemudian meninjau *performance level* dan melihat bagian mana yang mengalami kerusakan pada struktur tersebut.

Analisa beban dorong statik non-linier akan dilaksanakan mengikuti petunjuk FEMA 356, kebetulan program SAP2000 yang digunakan juga mengacu pada dokumen tersebut. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. Membuat model struktur seperti pada analisis elastis dengan memasukkan semua elemen bangunan yang berkaitan dengan berat, kekuatan, kekakuan, stabilitasnya dan lainnya dan direncanakan agar memenuhi ketentuan perencanaan.
2. Analisis beban dorong dilakukan dalam dua tahap, yang pertama struktur diberi beban gravitasi (kombinasi beban mati dan beban hidup yang direduksi). Analisis tahap pertama belum memperhitungkan kondisi non-linier. Selanjutnya analisis dilanjutkan dengan memberikan pola beban lateral yang diberikan secara monotonik bertahap. Pola beban lateral minimal dua buah setiap arahnya sesuai ketentuan FEMA agar diperoleh kondisi yang paling kritis.
3. Intensitas pembebanan lateral ditingkatkan sampai komponen struktur yang paling lemah berdeformasi yang menyebabkan kekakuannya berubah secara signifikan (terjadi leleh dari penampang). Kekakuan penampang yang mengalami leleh pada model akan dimodifikasi untuk mengantisipasi perilaku pasca leleh, selanjutnya model struktur yang dimodifikasi diberi pembebanan kembali, baik dengan kontrol beban atau kontrol lendutan menggunakan pola beban yang sama.
4. Langkah ke-3 di atas diulang sebanyak jumlah komponen yang mencapai kondisi bataskekuatannya (leleh). Sebagai catatan ,



meskipun intensitas pembebanan secara bertahap meningkat tetapi pola beban yang diberikan tetap sama untuk setiap tahapan, meskipun FEMA juga memperbolehkan menggunakan alternatif lain yaitu pola beban adaptive.

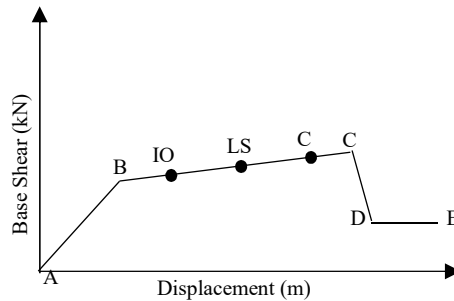
5. Untuk setiap tahapan beban, gaya dalam dan deformasi elastis maupun plastis dihitung dan direkam. Gaya dan deformasi untuk semua tahapan beban sebelumnya akan terakumulasi untuk menghasilkan gaya dan deformasi total (elastis dan plastis) dari semua komponen pada semua tahap pembebanan.
6. Proses pembebanan dilanjutkan sampai batas kinerja terdeteksi dari perpindahan titik control pada atap.

Langkah 3 - 6 dilakukan secara sistematis dan otomatis oleh program komputer yang mempunyai kemampuan untuk analisa struktur statik non-linier atau pushover, dalam hal ini adalah SAP2000. Prosesnya melalui iterasi yang berulang sampai diperoleh keseimbangan pada gaya-gaya internalnya. Selanjutnya akumulasi gaya dan deformasi dievaluasi pada target perpindahan untuk mengetahui kinerja setiap komponen.

### ***3.2.10 Evaluasi Level Kinerja Struktur***

Dari hasil analisa pushover yang telah dilakukan, dapat dilihat level kerusakan elemen struktur yang terjadi akibat deformasi yang diterima oleh bangunan. Sehingga dapat dilakukan evaluasi dan pengelompokan terhadap kategori kerusakan dan tingkat kinerja struktur gedung yang terjadi tiap perubahan nilai displacementnya. Batasan deformasi tingkat kinerja dan spektra kapasitas berdasarkan FEMA 356 dapat dilihat pada bab sebelumnya, dan

pada pemograman SAP2000, berikut ini tabel tingkat kerusakan struktur berdasarkan SAP2000 :



**Gambar 3.7** *Performance Level Curve*  
(Sumber : Dewobroto, 2005)

**Tabel 3.13.** Tingkat kerusakan struktur akibat terbentuk- nya sendi plastis dalam program SAP2000

Keterangan	Simbol	Penjelasan
B	●	Menunjukkan batas elastis pada struktur yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur. Tidak ada kerusakan pada struktur dan non struktural.
IO	●	Tidak ada kerusakan pada komponen struktur namun hanya kerusakan kecil pada komponen non struktur. Kekuatan dan kekakuannya mendekati sama dengan kondisi sebelum gempa. Bangunan dapat tetap berfungsi.
LS	●	Terjadi kerusakan pada komponen struktur dan non struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan dapat berfungsi lagi jika sudah mengalami perbaikan.
CP	●	Terjadi kerusakan yang parah ( <i>severe</i> ) pada struktur dan telah terjadi kegagalan pada komponen nonstruktural, sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak, bangunan hampir runtuh ( <i>near collapse</i> ). Kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.
C	●	Batas maksimum struktur dalam menahan gaya geser gempa
D	●	Struktur tidak mampu menahan beban gempa namun masih mampu menahan beban gravitasi.
E	●	Struktur sudah hancur ( <i>collapse</i> )

Bila struktur mengalami gempa atau gaya geser dasar ( $V_b$ ), dengan kondisi gempa tersebut  $<$  gempa rencana ( $V_n$ ), maka komponen struktur masih dalam keadaan elastik (A-B). Titik B menunjukkan keadaan leleh pertama. Ketika  $V_b > V_y$ , struktur dalam keadaan plastis (B-C). Titik C merupakan batasan maksimum struktur dalam menahan gempa ( $V_b$ ).  $V_b$  terus meningkat, maka terjadi degradasi pada struktur (C-D). Titik D menandakan bahwa struktur tidak mampu menahan gempa ( $V_b$ ), tetapi masih mampu menahan beban gravitasi. Bila beban ditingkatkan, struktur akan runtuh (E).

### 1. **Metoda Koefisien Perpindahan (FEMA 273/356)**

Proses dimulai dengan menetapkan waktu getar efektif,  $T_e$ , yang memperhitungkan kondisi inelastis bangunan (lihat bagian tentang waktu getar alami). Waktu getar alami efektif mencerminkan kekakuan linier dari sistem SDOF ekuivalen. Jika diplot-kan pada spektrum respons elastis akan menunjukkan percepatan gerakan tanah pada saat gempa yaitu akselerasi puncak,  $S_a$ , versus waktu getar,  $T$ . Rendaman yang digunakan selalu 5% yang mewakili level yang diharapkan terjadi pada struktur yang mempunyai respons pada daerah elastis. Puncak perpindahan spectra elastis,  $S_d$ , berhubungan langsung dengan akselerasi spektra,  $S_a$ , dengan hubungan berikut:

$$S_d = \frac{T_e^2}{4\pi^2} S_a \quad (3.27)$$

Selanjutnya target perpindahan pada titik kontrol  $\delta_T$ , ditentukan dari rumus berikut :

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left( \frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \quad (3.28)$$

Dimana :

$T_e$  = Waktu getar alami efektif yang memperhitungkan kondisi inelastic

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3.29)$$

dimana  $T_i$  dan  $K_i$  adalah perioda alami awal elastis (dalam detik) dan kekakuan awal bangunan pada arah yang ditinjau.

$C_0$  = Koefisien faktor bentuk , untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan Tabel 3-2 dari FEMA 356.

$C_1$  = Faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier.

$$= 1.0 \text{ untuk } T_e \geq T_s$$

$$= [1.0 + (R - 1) T_s / T_e] / R \text{ untuk } T_e < T_s$$

$T_s$  = waktu getar karakteristik yang diperoleh dari kurva respons spektrum pada titik dimana terdapat transisi bagian akselerasi konstan ke bagian kecepatan konstan.

$R$  = rasio “kuat elastik perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung”.

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} C_m \quad (3.30)$$

$S_a$  = Akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.

$V_y$  = Gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva *pushover* menjadi bilinear.

$W$  = Total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.

$C_m$  = Faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356.

$C_2$  = Koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban-deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan, berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA 356.

$C_3$  = Koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P-delta. Koefisien diperoleh secara empiris dari studi statistik analisa riwayat waktu non-linier dari SDOF dandiambil berdasarkan pertimbangan *engineering judgement*, dimana perilaku hubungan gaya geser dasar – lendutan pada kondisi pasca leleh kekakuannya positif (kurva meningkat) maka  $C_3 = 1$

$g$  = percepatan gravitasi  $9.81 \text{ m/det}^2$

## 2. Metoda Spektrum Kapasitas

Metoda Spektrum Kapasitas merupakan metoda utama ATC 40 dimaksudkan untuk konstruksi beton bertulang, dalam Metoda Spektrum Kapasitas proses dimulai dengan menghasilkan kurva hubungan gaya perpindahan yang memperhitungkan kondisi inelastis struktur. Proses tersebut sama dengan Metode Koefisien Perpindahan, kecuali bahwa hasilnya diplot-kan dalam format ADRS (*acceleration displacement response spectrum*).

## 3. Metoda Koefisien Perpindahan Yang Diperbaiki (FEMA 440)

Untuk Metode Koefisien Perpindahan, persamaan target perpindahannya tetap sama yaitu Persamaan :  $\delta_T =$

$$C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left( \frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \quad (3.31)$$

Tetapi modifikasi diberikan dalam menentukan parameter  $C_1$  dan  $C_2$ .

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{aT_e^2} \quad (3.32)$$

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left( \frac{R-1}{T_e} \right)^2 \quad (3.33)$$

Dimana  $T_e$  adalah waktu getar efektif dari struktur dalam detik,  $R$  adalah rasio kekuatan yang dihitung dengan Persamaan 2.27. Konstanta  $a$  adalah sama dengan 130, 90 dan 60 untuk site kategori B, C dan D. Untuk waktu getar kurang dari 0.2 detik maka nilai  $C_1$  pada 0.2 detik dapat dipakai. Untuk waktu getar lebih dari 1.0 detik maka  $C_1$  dapat dianggap sama dengan 1. Untuk waktu getar kurang dari 0.2 detik maka nilai  $C_2$  pada 0.2 detik dapat dipakai. Untuk waktu getar lebih dari 0.7 detik maka  $C_2$  dapat dianggap sama dengan 1.

**Tabel 3.14.** Kutipan data FEMA 356 (Sumber : FEMA 356)

No. of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentric Braced Frame	Steel Eccentric Braced Frame	Other
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

1.  $C_m$  shall be taken as 1.0 if the fundamental period,  $T$ , is greater than 1.0 second

Number of Stories	Shear Buildings <sup>2</sup>		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Linear interpolation should be used to calculate intermediate values

2. Buildings in which, for all stories, interstory drift decreases with increasing height.

Structural Performance Level	$T \leq 0.1 \text{ second}^3$		$T > T_s \text{ second}^3$	
	Framing Type 1 <sup>1</sup>	Framing Type 2 <sup>1</sup>	Framing Type 1 <sup>1</sup>	Framing Type 2 <sup>1</sup>
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements or frames; ordinary moment-resisting, concentrically-braced frames, frames with partially-restrained connections, tension-only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical, piers and spandrels of reinforced concrete or masonry.

2. All frames not assigned to Framing Type 1.

3. Linear interpolation shall be used for intermediate values of  $T$

## BAB IV

### PRELIMINARY DESIGN

#### 4.1 Data Desain Preliminary

Bahan yang dipakai untuk struktur gedung ini adalah beton bertulang dengan data-data sebagai berikut :

Tipe bangunan	: Pusat Perbelanjaan
Wilayah Gempa	: Jogjakarta
Tinggi bangunan	: 34 m (8 lantai)
Lebar bangunan	: 60 m
Panjang bangunan	: 42 m
Mutu beton ( $f'c$ )	: - 35 MPa (Kolom)
	: - 30 MPa (Balok dan Plat)
Mutu baja ( $f_y$ )	: 400 MPa (Besi Ulir BJTD U40)
	: 240 MPa (Besi Polos BJTP U24)

#### 4.2 Preliminary Design Balok (SNI 2847:2013 pasal 9.5.2.2, tabel 9.5(a))

Preliminary design balok bertujuan untuk memperkirakan lebar dan tinggi balok. Tinggi minimum balok ( $h_{\min}$ ) tanpa memperhitungkan lendutan ditentukan berdasarkan *SNI 2847:2013 Psl. 9.5.2.2. Tabel 9.5(a)* atau dapat dilihat pada Tabel 3.1. Lebar balok diestimasikan berkisar antara  $1/2$  -  $2/3$  tinggi balok.

$$h_{\min} = \frac{l}{16}$$

Untuk  $f_y$  selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0.4 + f_y/700)$ . Jadi untuk mutu baja 390 Mpa, perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$h_{\min} = \left(\frac{l}{16}\right) \cdot \left(0.4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

#### 4.2.1 Balok Induk

Balok induk bentang  $l = 6000$  mm

- Tinggi Balok

$$h_{\min} = \left(\frac{l}{16}\right) \cdot \left(0.4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

$$h_{\min} = \left(\frac{6000}{16}\right) \cdot \left(0.4 + \frac{400}{700}\right) = 364.29 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

Maka digunakan tinggi ( $h$ ) untuk balok yaitu **600 mm atau 60 cm**

- Lebar Balok

$$b_{\min} = \left(\frac{2}{3}\right) h = \left(\frac{2}{3}\right) 600 = 400 \text{ mm}$$

Maka digunakan lebar ( $b$ ) untuk balok yaitu **400 mm atau 40 cm**

Jadi dimensi **Balok Induk (BI)**  $L = 6000$  mm digunakan **60/40 cm**

#### 4.2.2 Balok Anak

Balok anak termasuk komponen kedua ujung menerus, sehingga untuk menentukan tinggi balok anak lihat pada tabel 3.1 atau *SNl 2847:2013 Psl. 9.5.2.2. Tabel 9.5(a)*.



Balok induk bentang  $l = 6000 \text{ mm}$

- Tinggi Balok Anak

$$h_{\min} = \left(\frac{l}{21}\right) \cdot \left(0.4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

$$h_{\min} = \left(\frac{6000}{21}\right) \cdot \left(0.4 + \frac{400}{700}\right) = 277.55 \text{ mm} \approx 450 \text{ mm}$$

Maka digunakan tinggi (h) untuk balok yaitu **450 mm atau 45 cm**

- Lebar Balok Anak

$$b_{\min} = \left(\frac{2}{3}\right) h = \left(\frac{2}{3}\right) 400 = 266.66 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

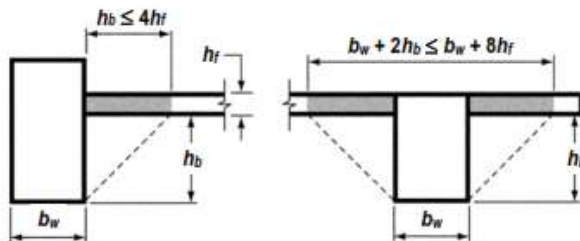
Maka digunakan lebar (b) untuk balok yaitu **300 mm atau 30 cm**  
Jadi dimensi **Balok Anak (B3) L= 6000 mm** digunakan **30/45cm**

**Tabel 4.1. Preliminary Desain Balok**

<b>Tipe Balok</b>	<b>Bentang (cm)</b>	<b>b pakai (cm)</b>	<b>h pakai (cm)</b>
BI	600	40	60
BA	600	30	45

### 4.3 Preliminary Design Pelat Lantai

Preliminary design pelat lantai bertujuan untuk memperkirakan ketebalan pelat lantai. Preliminary design pelat lantai dengan balok-balok interior dimulai dengan mengklasifikasikan sistem pelat lantai. Untuk sistem pelat lantai satu arah dapat langsung menggunakan rumus pada Tabel 3.1 atau *SNI 2847:2013 Psl. 9.5.2.2. Tabel 9.5(a)*. Sementara untuk sistem pelat lantai dua arah perlu diperhitungkan perbandingan  $\alpha$  dari kekakuan lentur balok terhadap kekakuan lentur pelat. Untuk struktur balok dan pelat yang monolit, *SNI 2847:2013 pasal 13.2.4* mengizinkan pengikutan pelat sayap (flange) pada perhitungan kekakuan lentur balok. Besarnya pengikutan pelat ini dibatasi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1. Setelah nilai  $\alpha$  diketahui, perhitungan dapat dilanjutkan sesuai ketentuan pada Sub Bab 3.2.3.a.

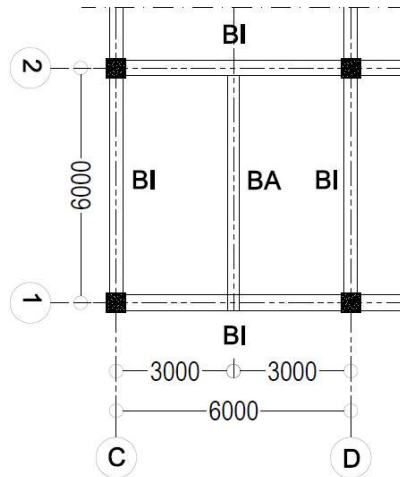


**Gambar 4.1** Contoh bagian slab yang disertakan dengan balok

Sumber : SNI 2847:2013 pasal 13.2.4

- Pelat Lantai Satu – Lantai Atap

Pelat lantai satu sampai dengan lantai atap menggunakan balok interior di sekeliling sistem pelatnya. Sebagai contoh perhitungan ditinjau dua buah panel pelat lantai seperti pada Gambar 4.2



**Gambar 4.2** Panel Pelat Sumbu 3-2:G-G'

$$L_n = 6000 - \left( \frac{350}{2} + \frac{350}{2} \right) = 5650 \text{ mm}$$

$$S_n = 3000 - \left( \frac{350}{2} + \frac{250}{2} \right) = 2700 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{5650}{2700} = 2.09 \text{ mm} \rightarrow \beta > 2 \text{ (Pelat satu arah)}$$

Contoh perhitungan menggunakan pelat satu arah dengan dimensi 3000 mm x 6000 mm dengan kondisi struktur kedua ujung menerus terdapat pada SNI 2847-2013 Psl. 9.5.2.2. Tabel 9.5(a). yaitu:

$$t_p = \frac{l}{28} \left( 0.4 + \frac{fy}{700} \right) = \frac{Sn}{28} \left( 0.4 + \frac{400}{700} \right) = \frac{2700}{28} \left( 0.4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$= 93.67 \text{ mm}$$

dipakai ketebalan pelat  $t_p = 120 \text{ mm}$

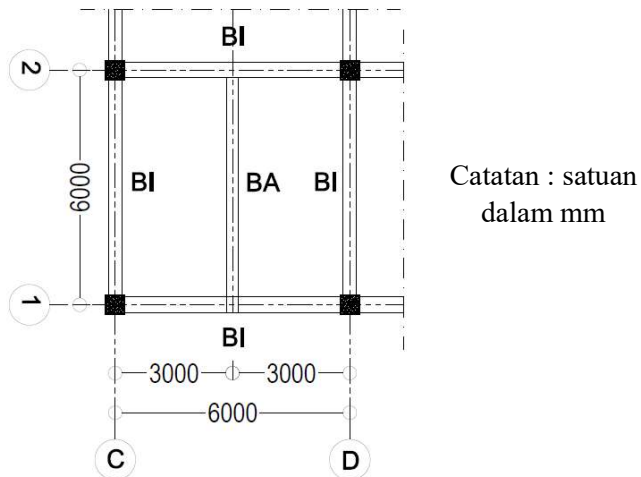
#### 4.4 Preliminary Design Kolom

Preliminary design kolom dilakukan dengan menghitung kebutuhan dimensi kolom terhadap beban aksial yang dipikulnya. Pada gedung ini beban aksial yang bekerja adalah:

- *Beban mati*
  - **Beban lapisan waterproofing : 0,05 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 2002 Table C3-1, *Waterproofing Membranes Liquid Applied*)
  - **Beban Keramik + Spesi : 1,10 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 2002 Table C3-1 *Ceramic, or quarry tile (19 mm) on 25 mm mortar bed*)
  - **Beban ducting mekanikal : 0,191 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 2002 Table C3-1, *Mechanical Duct Allowance*)
  - **Beban penggantung langit-langit : 0,1 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 2002 Table C3-1, *Suspended Steel Channel System*)
  - **Beban Plafon : 0,05 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 2002 Table C3-1, *Acoustical fiberboard*)
- *Beban hidup*
  - **Lantai ruang kantor : 2,40 kN/m<sup>2</sup>** (SNI 1727:2013 tabel 4 - 1)

- **Atap datar** :  $0,96 \text{ kN/m}^2$  (SNI 1727:2013 tabel 4-1)
- **Beban Partisi** :  $0,72 \text{ kN/m}^2$  (SNI 1727:2013 pasal 4.32)

Sebagai acuan akan dihitung kolom pada lantai atap atau lantai dua as 2C. Area tributari yang membebani kolom ini ditunjukkan pada Gambar 4.4,



**Gambar 4.3** Area Tributari Dari Lantai Atap atau Lantai Dua

**Tabel 4.2** Beban Tributari Kolom Lantai 1 – Lantai 4Beban Mati

LANTAI ATAP	tebal	tinggi	panjang	lebar	BJ beton	beban	jumlah	volume
	m	m	m	m	kn/m <sup>3</sup>	kn/m <sup>2</sup>	buah	kn
LANTAI ATAP								
PLAT LANTAI	0.12		6	6	23.52		1	101.6064
BALOK								
- Balok Induk Memanjang		0.6	6	0.4	23.52		2	67.7376
- Balok Induk Melintang		0.6	6	0.4	23.52		2	67.7376
- Balok Anak		0.4	6	0.3	23.52		1	16.9344
DUCTING MEKANIKAL			6	6		0.19	1	6.84
LAP. WATERPROOFING			6	6		0.05	1	1.8
PLAFOND			6	6		0.05	1	1.8
PENGGATUNG			6	6		0.1	1	3.6
<b>PDL1</b>								<b>268.056</b>
LANTAI 1 S/D 7								
PLAT LANTAI	0.12		6	6	23.52		7	711.2448
BALOK								
- Balok Induk Memanjang		0.6	6	0.4	23.52		14	474.1632
- Balok Induk Melintang		0.6	6	0.4	23.52		14	474.1632
- Balok Anak		0.4	6	0.3	23.52		7	118.5408
DUCTING MEKANIKAL			6	6		0.19	7	47.88
KERAMIK + SPESI			6	6		0.05	7	12.6
PLAFOND			6	6		0.05	7	12.6
PENGGATUNG			6	6		0.1	7	25.2
<b>PDL2</b>								<b>1876.39</b>
<b>Σ PDL</b>								<b>2144.45</b>

**Beban Hidup**

LANTAI ATAP	tebal	tinggi	panjang	lebar	BJ beton	beban	jumlah	volume
BEBAN HIDUP			6	6		0.96	1	34.56
<b>PLL</b>								<b>34.56</b>
LANTAI 1 S/D 7								
BEBAN HIDUP			6	6		2.4	7	604.8
BEBAN PARTISI			6	6		0.72	7	181.44
<b>PLL2</b>								<b>786.24</b>
<b>Σ PLL</b>								<b>820.8</b>
KOMBINASI BEBAN								
PU = 1.4 PDL								<b>3002.23</b>
PU = 1.4 PDL + 1.6 PLL								<b>4315.51</b>

Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 MPa = 35 N/mm<sup>2</sup> = 35000 kN/m<sup>2</sup>

$$A = 3 \times \frac{P_u}{f'_c} = 3 \times \frac{4315.51}{35000} = 0.369 \text{ m}^2$$



Mutu beton ( $f'_c$ ) : 35 MPa = 35 N/mm<sup>2</sup> = 35000 kN/m<sup>2</sup>

$$A = 2 \times \frac{P_u}{f'_c} = 3 \times \frac{1864.39}{35000} = 0.1796 \text{ m}^2$$

Dimensi :  $b^2 = 0.1796 \text{ m}^2$

$$b_{min} = \sqrt{0.1796} = 0.42 \text{ m}$$

Dipakai **Dimensi kolom K2 55/55 cm**



## BAB V

### PERHITUNGAN STRUKTUR SEKUNDER

#### 5.1 Perhitungan Struktur Pelat Lantai

##### 5.1.1 Pembebanan Struktur Pelat Lantai

Beban yang dominan bekerja pada struktur pelat lantai adalah beban mati dan beban hidup. Besarnya beban-beban yang bekerja diambil dari sub bab 3.2.3.1 c

##### Beban Mati

- Berat sendiri  $= t_{\text{pelat}} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ m}$   
 $= 0,12 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m}$   
 $= 2,822 \text{ kN/m}$
- Beban keramik+spesi  $= \text{berat/m}^2 \times 1 \text{ m}$   
 $= 1,10 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m}$   
 $= 1,10 \text{ kN/m}$
- Beban ducting ME  $= \text{berat/m}^2 \times 1 \text{ m}$   
 $= 0,19 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m}$   
 $= 0,19 \text{ kN/m}$
- Beban plafon  $= \text{berat/m}^2 \times 1 \text{ m}$   
 $= 0,05 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m}$   
 $= 0,05 \text{ kN/m}$
- Beban penggantung plafon  $= \text{berat/m}^2 \times 1 \text{ m}$   
 $= 0,10 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m}$   
 $= 0,10 \text{ kN/m}$

$$q_{DL} = 4,262 \text{ kN/m}$$

### Beban Hidup

- Beban hidup lantai kantor =  $2,4 \text{ kN/m}^2$
- Beban partisi (untuk beban hidup  $< 3,83 \text{ kN/m}^2$ ) =  $0,72 \text{ kN/m}^2$   
 $q_{LL} = (2,4 \text{ kN/m}^2 + 0,72 \text{ kN/m}^2) \times 1 \text{ m} = 3,12 \text{ kN/m}$

### Beban Ultimit

$$q_{U1} = 1,4 W_{DL} = 1,4 (4,262) = 5,967 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} q_{U2} &= 1,2 W_{DL} + 1,6 W_{LL} \\ &= 1,2 (4,262) + 1,6 (3,12) = 10,107 \text{ kN/m (menentukan)} \end{aligned}$$

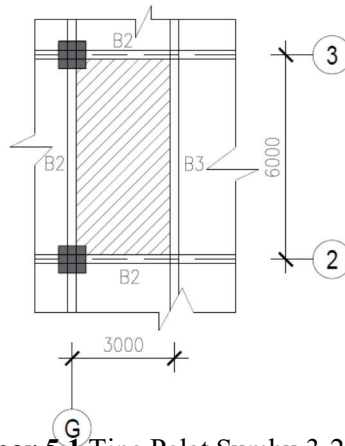
## **5.1.2 Analisis Struktur Pelat Lantai**

Analisis struktur pelat lantai bertujuan untuk mengetahui momen lentur yang bekerja pada pelat lantai. Pada pelat satu arah momen dihitung sesuai ketentuan SNI 2847:2013 pasal 8.3.3. Sementara untuk pelat dua arah perhitungannya menggunakan bantuan Tabel Koefisien Momen.

### **5.1.2.1 Perhitungan Tulangan Pelat Lantai**

Perhitungan struktur pelat lantai bertujuan untuk mencari diameter dan jarak tulangan utama dan tulangan susut. Tulangan utama dihitung berdasarkan momen lentur yang bekerja pada pelat. Untuk tulangan susut dihitung berdasarkan batasan penulangan susut pada SNI-2847-2013 pasal 7.12.2.1.

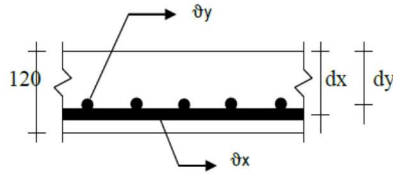
a. Pelat lantai 2 = Pelat Lantai Atap



**Gambar 5.1** Tipe Pelat Sumbu 3-2:G-G'

Adapun data-data perancangan untuk penulangan plat lantai :

- Dimensi pelat
  - $Ln = 6000 - \left( \frac{400}{2} + \frac{350}{2} \right) = 5600 \text{ mm}$
  - $Sn = 3000 - \left( \frac{400}{2} + \frac{350}{2} \right) = 2625 \text{ mm}$
  - $\beta = \frac{Ln}{Sn} = \frac{5600}{2625} = 2.14 \text{ mm} \rightarrow \beta > 2 \text{ (Pelat Satu Arah)}$
- Tebal pelat 120 mm
- Tebal decking 20 mm (SNI 03-2847-2013 Ps. 7.7.2)
- Diameter tulangan rencana 10 mm
- Mutu tulangan baja  $f_y = 400 \text{ MPa}$
- Mutu beton  $f_c' = 30 \text{ MPa}$



**Gambar 5.2** Potongan Plat Lantai

$$\begin{aligned} dx &= t \text{ pelat} - \text{decking} - \frac{1}{2} \emptyset &= 120 - 20 - \frac{1}{2}(10) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= t \text{ pelat} - \text{decking} - \emptyset - \frac{1}{2} \emptyset &= 120 - 20 - 10 - \frac{1}{2}(10) \\ &= 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 Ps. 10.2.7.3)

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05(f'_c - 28)}{7}$$

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05(30 - 28)}{7} = 0.836 \text{ (SNI 2847:2013 Ps. 10.2.7.3)}$$

$$M_{t \text{ Interior}_1} = \frac{1}{10} w_u L_x^2 = \frac{1}{10} (10,107) \cdot (3,625)^2$$

$$M_{t \text{ Interior}_1} = 6,96 \text{ kNm}$$

$$M_{lap} = \frac{1}{16} w_u L_x^2 = \frac{1}{16} (10,107) \cdot (3,625)^2 = 4,35 \text{ kNm}$$

$$M_{t \text{ Interior}_2} = \frac{1}{11} w_u L_x^2 = \frac{1}{11} (10,107) \cdot (3,625)^2$$

$$M_{t \text{ Interior}_2} = 6,33 \text{ kNm}$$

### Tumpuan Interior 1

1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{Mu}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{Mu}{\phi f_y (jd)}$$

Asumsi lengan momen lentur tulangan,  $jd$ , sebesar  $0,9d$ .

Penampang juga diasumsikan dalam keadaan *tension controlled*  
 $\phi = 0,9$ . (SNI 2847:2013 Ps. 9.3.2.1)

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0.90d)}$$

$$A_s \geq \frac{6,96 \times 10^6}{0.9(400)(0.90 \times 95)}$$

$$A_s \geq 226,26 \text{ mm}^2$$

2. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{226,26 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1000} = 3,549 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3.549}{0.836} = 4,247 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} (95) = 35,625 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t$  ..... (*tension controlled*, asumsi awal benar)

3. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{6,96 \times 10^6}{0.9 \times 400 \left( 95 - \frac{3,362}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 207,302 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{207,302}{1000 \times 95} = 0,00218$$

#### 4. Cek syarat minimum tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan kebutuhan tulangan minimum terhadap suhu dan susut terdapat pada SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1 :

(a) Slab yang menggunakan mutu 280 atau 350,  $\rho_{min} = 0,0020$

(b) Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420,  $\rho_{min} = 0,0018$

Digunakan  $f_y = 400$  MPa, maka dilakukan interpolasi.

$$\rho_{min} = 0,002 - \frac{(280 - 400)}{(280 - 420)}(0,002 - 0,0018) = 0,00183$$

$\rho > \rho_{min}$  , Maka rasio tulangan minimum terpenuhi, sehingga  $A_s$  perlu dapat digunakan.

#### 5. Menentukan tulangan terpasang

##### Tulangan Utama

$$A_{sperlu} = 207,302 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan (n)

$$A_{tulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi (10)^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{sperlu}}{A_{tulangan}} = \frac{207,302}{78,5} = 2,64 \approx 3 \text{ buah}$$

#### 6. Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan (SIN 2847:2013 Ps 10.5.4) bahwa spasi maksimum antar tulangan untuk slab tiak boleh melebihi nilai terkecil dari tiga kali tebal slab atau 450 mm (disini nilai terkecil adalah 3 x tebal slab). Dan Pada (SIN 2847:2013 Ps 13.3.2) disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab ( $\leq 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$ )

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1m :

$$\text{Jarak antar tulangan} = \frac{1000}{3-1} = 500\text{mm} \geq 240 \text{ m Jarak Direvisi!!!}$$

Maka digunakan jarak tulangan yaitu  $S_{\text{tul.perlu}} : 200 \text{ mm}$

$$n_{\text{pasang}} = \frac{1000 + s_{\text{perlu}}}{s_{\text{perlu}}} = \frac{1000 + 200}{200} = 6 \text{ buah}$$

$$A_{\text{Spasang}} = n_{\text{pasang}} \times A_{\text{tulangan}} = 6 \times 78.5 = 471 \text{ mm}^2$$

### **Digunakan tulangan D10-200**

Tulangan Pembagi (tulangan suhu dan susut)

Didapatkan  $p_{\text{susut}} = 0.00183$  untuk  $f_y = 400 \text{ MPa}$  (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{\text{susut}} &= 0.00183 \times b \times h \\ &= 0.00183 \times 1000 \times 120 \\ &= 219.43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut

$$S = \frac{A_{\text{Stulangan}}}{A_{\text{susut}}} = \frac{78.5 \times 1000}{219.43} = 357.75 \text{ mm}$$

$$S < 5 h = 5 \times 120 = 600 \text{ mm (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.2)}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak tulangan : 300 mm

### **Digunakan tulangan D10-300**

### 7. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266.67 \text{ MPa}$$

$c_c = 20 \text{ mm}$  (Jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka Tarik)

Keterangan :

$c_c$  : Jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

$f_s$  : tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan MPa

$$s = 380 \left( \frac{280}{266.67} \right) - 2.5 \times 20 = 349 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

.....(ok)

$$s_{max} = 300 \left( \frac{280}{266.67} \right) = 315 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

.....(ok)

### 8. Kontrol lendutan

Lendutan maksimum yang diijinkan dalam SNI 2847:2013

Ps.9.5.3.1 tabel 9.5(b) untuk pelat lantai untuk lendutan seketika akibat beban hidup (LL) adalah :

$$\delta_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{2625}{360} = 7,29 \text{ mm}$$

$$Ec = 4700\sqrt{f_y} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$



$$Q = 1DL + 1LL = 4,262 + 3,12 = 738,24 \text{ kg/m}^2 \times 1\text{m} = 738,24 \text{ kg/m} \\ = 7,3824 \text{ N/mm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1000 \times 120^3}{12} = 1,44 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\delta^o = \left( \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L^4}{EI} \right) = \left( \frac{5}{384} \times \frac{7,38 \times 2,625^4}{25742,96 \times 1,44 \times 10^8} \right)$$

$$\delta^o = 1,23 \text{ mm}$$

$$1,23 \text{ mm} < \delta \text{ ijin} = 7,29 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

#### 9. Kontrol ketebalan plat terhadap geser

Nilai geser yang terjadi pada penampang pelat dihitung sesuai *SNI 2847:2013 Ps.8.3.3*, untuk pelat geser yang terjadi pada penampang ditahan oleh kuat geser beton  $V_c$  yang dihitung sesuai *SNI 2847:2013 Ps.11.2.1.1*

$$V_u = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{101070 \times 2.625}{2} = 13265,28 \text{ N}$$

$$V_c = \left( 0.17 \lambda \sqrt{f_c'} \right) x b_w x d = (0.17 \times 1 \sqrt{30}) \times 1000 \times 95 = \\ 88457,19 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 88457.19 = 66342.89 \text{ N}$$

$$\phi V_c \geq V_u = 66342.89 \text{ N} > 13265,28 \text{ N} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

#### 10. Cek Kapasitas Penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 x f_c' x b} = \frac{471 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1000} = 7,39 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - 0.5a)$$

$$= 0.9 \times 471 \times 400 (95 - (0,5 \times 7,39))$$

$$= 15481825,41 \text{ Nmm}$$

$$Mu \leq \phi Mn$$

$$6946272 \text{ Nmm} < 15481825,41 \text{ Nmm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

### Lapangan

1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{Mu}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{Mu}{\phi f_y (jd)}$$

Asumsi lengan momen lentur tulangan,  $jd$ , sebesar  $0,9d$ .

Penampang juga diasumsikan dalam keadaan *tension controlled*  
 $\phi = 0,9$ . (SNI 2847:2013 Ps. 9.3.2.1)

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,90d)}$$

$$A_s \geq \frac{4,35 \times 10^6}{0,9(400)(0,90 \times 95)}$$

$$A_s \geq 141,41 \text{ mm}^2$$

2. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{141,41 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1000} = 2,218 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,218}{0,836} = 2,654 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} (95) = 35,625 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t \dots\dots$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

3. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{4,35 \times 10^6}{0,9 \times 400 \left(95 - \frac{2,101}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 128,694 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{128,694}{1000 \times 95} = 0,00135$$

#### 4. Cek syarat minimum tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan kebutuhan tulangan minimum terhadap suhu dan susut terdapat pada SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1 :

(c) Slab yang menggunakan mutu 280 atau 350,  $\rho_{min} = 0,0020$

(d) Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420,  $\rho_{min} = 0,0018$

Digunakan  $f_y = 400 \text{ MPa}$ , maka dilakukan interpolasi.

$$\rho_{min} = 0,002 - \frac{(280 - 400)}{(280 - 420)}(0,002 - 0,0018) = 0,00183$$

$\rho < \rho_{min}$  , sehingga  $A_{s \text{ perlu}}$  digunakan :

$$A_{s_{min}} = \rho_{min} bd = 0,00183 \times 95 \times 1000 = 173,714 \text{ mm}^2$$

#### 5. Menentukan tulangan terpasang

##### Tulangan Utama

$$A_{s \text{ perlu}} = 173,714 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan (n)

$$A_{tulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi (10)^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{tulangan}} = \frac{173,714}{78,5} = 2,2 \approx 3 \text{ buah}$$

## 6. Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan (SNI 2847:2013 Ps 10.5.4) bahwa spasi maksimum antar tulangan untuk slab tiak boleh melebihi nilai terkecil dari tiga kali tebal slab atau 450 mm (disini nilai terkecil adalah 3 x tebal slab). Dan Pada (SNI 2847:2013 Ps 13.3.2) disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab ( $\leq 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$ )

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1m :

$$\text{Jarak antar tulangan} = \frac{1000}{3-1} = 500\text{mm} \geq 240 \text{ m Jarak Direvisi!!!}$$

Maka digunakan jarak tulangan yaitu  $S_{\text{tul.perlu}} : 200 \text{ mm}$

$$n_{\text{pasang}} = \frac{1000 + S_{\text{perlu}}}{S_{\text{perlu}}} = \frac{1000 + 200}{200} = 6 \text{ buah}$$

$$A_{\text{Spasang}} = n_{\text{pasang}} \times A_{\text{tulangan}} = 6 \times 78.5 = 471 \text{ mm}^2$$

### **Digunakan tulangan D10-200**

#### Tulangan Pembagi (tulangan suhu dan susut)

Didapatkan  $p_{\text{susut}} = 0.00183$  untuk  $f_y = 400 \text{ MPa}$  (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_{\text{susut}} &= 0.00183 \times b \times h \\ &= 0.00183 \times 1000 \times 120 \\ &= 219.43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut

$$S = \frac{A_{\text{stulangan}}}{A_{\text{susut}}} = \frac{78.5 \times 1000}{219.43} = 357,75 \text{ mm}$$

$$S < 5 h = 5 \times 120 = 600 \text{ mm (SNI-03-2847-2013 Ps. 7.12.2.2)}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak tulangan : 300 mm

### **Digunakan tulangan D10-300**

### 7. Jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266.67 \text{ MPa}$$

$c_c = 20 \text{ mm}$  (Jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka Tarik)

Keterangan :

$c_c$  : Jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

$f_s$  : tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan MPa

$$s = 380 \left( \frac{280}{266.67} \right) - 2.5 \times 20 = 349 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

.....(ok)

$$s_{max} = 300 \left( \frac{280}{266.67} \right) = 315 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

.....(ok)

### 8. Kontrol lendutan

Lendutan maksimum yang diijinkan dalam SNI 2847:2013

Ps.9.5.3.1 tabel 9.5(b) untuk pelat lantai untuk lendutan seketika akibat beban hidup (LL) adalah :

$$\delta_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{2625}{360} = 7,29 \text{ mm}$$

$$Ec = 4700\sqrt{f_y} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$Q = 1DL + 1LL = 4,262 + 3,12 = 738,24 \text{ kg/m}^2 \times 1\text{m} = 738,24 \text{ kg/m} \\ = 7,3824 \text{ N/mm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1000 \times 120^3}{12} = 1,44 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\delta^o = \left( \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L^4}{EI} \right) = \left( \frac{5}{384} \times \frac{7,38 \times 2,625^4}{25742,96 \times 1,44 \times 10^8} \right) \\ = 1,23 \text{ mm}$$

$$1,23 \text{ mm} < \delta \text{ ijin} = 7,29 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

#### 9. Kontrol ketebalan plat terhadap geser

Nilai geser yang terjadi pada penampang pelat dihitung sesuai *SNI 2847:2013 Ps.8.3.3*, untuk pelat geser yang terjadi pada penampang ditahan oleh kuat geser beton  $V_c$  yang dihitung sesuai *SNI 2847:2013 Ps.11.2.1.1*

$$V_u = \frac{Wu \cdot ln}{2} = \frac{101070 \times 2.625}{2} = 13265,28 \text{ N}$$

$$V_c = (0.17 \lambda \sqrt{f_c'}) \times b_w x d$$

$$= (0.17 \times 1 \sqrt{30}) \times 1000 \times 95 = 88457,19 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0.75 \times 88457.19 = 66342.89 \text{ N}$$

$$\phi V_c \geq V_u = 66342.89 \text{ N} > 13265,28 \text{ N} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

#### 10. Cek Kapasitas Penampang

$$a = \frac{As \cdot f_y}{0.85 x f_c' x b} = \frac{471 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1000} = 7,39 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot As \cdot f_y \cdot (d - 0.5a)$$

$$= 0.9 \times 471 \times 400 (95 - (0.5 \times 7.39))$$

$$= 15481825,41 \text{ Nmm}$$

$$Mu \leq \phi Mn$$

$$4352670 \text{ Nmm} < 15481825,41 \text{ Nmm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

### Tumpuan Interior 2

#### 1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$As \geq \frac{Mu}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{Mu}{\phi f_y (jd)}$$

Asumsi lengan momen lentur tulangan,  $jd$ , sebesar  $0,9d$ .

Penampang juga diasumsikan dalam keadaan *tension controlled*

$\phi = 0,9$ . (SNI 2847:2013 Ps. 9.3.2.1)

$$As \geq \frac{Mu}{\phi f_y (0.90d)}$$

$$As \geq \frac{6,33 \times 10^6}{0.9(400)(0.90 \times 95)}$$

$$As \geq 205,69 \text{ mm}^2$$

#### 2. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{As f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{205,69 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1000} = 3,227 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3,227}{0,836} = 3,861 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} (95) = 35,625 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t \dots\dots$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

### 3. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{6,33 \times 10^6}{0,9 \times 400 \left(95 - \frac{3,057}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 188,148 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{188,148}{1000 \times 95} = 0,00198$$

### 4. Cek syarat minimum tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan kebutuhan tulangan minimum terhadap suhu dan susut terdapat pada SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1 :

(e) Slab yang menggunakan mutu 280 atau 350,  $\rho_{min} = 0,0020$

(f) Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420,  $\rho_{min} = 0,0018$

Digunakan  $f_y = 400 \text{ MPa}$ , maka dilakukan interpolasi.

$$\rho_{min} = 0,002 - \frac{(280 - 400)}{(280 - 420)}(0,002 - 0,0018) = 0,00183$$

$\rho > \rho_{min}$  ,Maka rasio tulangan minimum terpenuhi, sehingga  $A_{s \text{ perlu}}$  dapat digunakan.

### 5. Menentukan tulangan terpasang

#### Tulangan Utama

$$A_{s \text{ perlu}} = 188,148 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan (n)

$$A_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi (10)^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$



$$n = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{tulangan}} = \frac{188,148}{78,5} = 2,39 \approx 3 \text{ buah}$$

#### 6. Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan (SIN 2847:2013 Ps 10.5.4) bahwa spasi maksimum antar tulangan untuk slab tiak boleh melebihi nilai terkecil dari tiga kali tebal slab atau 450 mm (disini nilai terkecil adalah 3 x tebal slab). Dan Pada (SIN 2847:2013 Ps 13.3.2) disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab ( $\leq 2 \times 120 = 240 \text{ mm}$ )

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1m :

$$\text{Jarak antar tulangan} = \frac{1000}{3-1} = 500\text{mm} \geq 240 \text{ m Jarak Direvisi!!!}$$

Maka digunakan jarak tulangan yaitu  $s_{tul.perlu} : 200 \text{ mm}$

$$n_{pasang} = \frac{1000 + s_{perlu}}{s_{perlu}} = \frac{1000 + 200}{200} = 6 \text{ buah}$$

$$A_{spasang} = n_{pasang} \times A_{tulangan} = 6 \times 78.5 = 471 \text{ mm}^2$$

#### **Digunakan tulangan D10-200**

#### Tulangan Pembagi (tulangan suhu dan susut)

Didapatkan  $\rho_{susut} = 0.00183$  untuk  $f_y = 400 \text{ MPa}$  (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_s \text{ susut} &= 0.00183 \times b \times h \\ &= 0.00183 \times 1000 \times 120 \\ &= 219.43 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut

$$S = \frac{A_{stulangan}}{A_{susut}} = \frac{78.5 \times 1000}{219,43} = 357,75 \text{ mm}$$

$$S < 5h = 5 \times 120 = 600 \text{ mm (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.2)}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak tulangan : 300 mm

### **Digunakan tulangan D10-300**

#### 7. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266.67 \text{ MPa}$$

$c_c = 20 \text{ mm}$  (Jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka Tarik)

Keterangan :

$c_c$  : Jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

$f_s$  : tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan MPa

$$s = 380 \left( \frac{280}{266.67} \right) - 2.5 \times 20 = 349 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \dots(\text{ok})$$

$$s_{max} = 300 \left( \frac{280}{266.67} \right) = 315 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \dots(\text{ok})$$

#### 8. Kontrol lendutan

Lendutan maksimum yang diijinkan dalam SNI 2847:2013

Ps.9.5.3.1 tabel 9.5(b) untuk pelat lantai untuk lendutan seketika akibat beban hidup (LL) adalah :

$$\delta_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{2625}{360} = 7,29 \text{ mm}$$

$$Ec = 4700\sqrt{f_y} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$Q = 1DL + 1LL = 4,262 + 3,12$$

$$= 738,24 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ m} = 738,24 \text{ kg/m} = 7,3824 \text{ N/mm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1000 \times 120^3}{12} = 1,44 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\delta^o = \left( \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L^4}{EI} \right) = \left( \frac{5}{384} \times \frac{7,38 \times 2,625^4}{25742,96 \times 1,44 \times 10^8} \right)$$

$$= 1,23 \text{ mm}$$

$$1,23 \text{ mm} < \delta \text{ ijin} = 7,29 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

#### 9. Kontrol ketebalan plat terhadap geser

Nilai geser yang terjadi pada penampang pelat dihitung sesuai *SNI 2847:2013 Ps.8.3.3*, untuk pelat geser yang terjadi pada penampang ditahan oleh kuat geser beton  $V_c$  yang dihitung sesuai *SNI 2847:2013 Ps.11.2.1.1*

$$V_u = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{101070 \times 2,625}{2} = 13265,28 \text{ N}$$

$$V_c = (0,17 \lambda \sqrt{f_c'}) \times b_w \times d$$

$$= (0,17 \times 1 \sqrt{30}) \times 1000 \times 95 = 88457,19 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 88457,19 = 66342,89 \text{ N}$$

$$\phi V_c \geq V_u = 66342,89 \text{ N} > 13265,28 \text{ N} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

#### 10. Cek Kapasitas Penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{471 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1000} = 7,39 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5a)$$

$$= 0,9 \times 471 \times 400 (95 - (0,5 \times 7,39))$$

= 15481825,41 Nmm

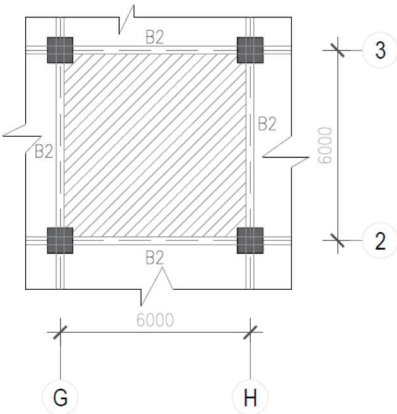
$Mu \leq \phi Mn$

6331156,36 Nmm < 15481825,41 Nmm.....( OK )

Tabel 5.1 Penulangan Plat Lantai

Lokasi		Mu (Nmm)	As Perlu (mm2)	Kebutuhan Tulangan	As pasang (mm2)	φMn (Nmm)
a	b	b	c	d	e	f
Tumpuan interior 1	Pokok	6,964,272.0	207.302	D10 - 200	471.0	15,481,825.41
	susut		219.429	D10 - 300	340.2	
Lapangan	Pokok	4,352,670.0	128.694	D10 - 200	471.0	15,481,825.41
	susut		219.429	D10 - 300	340.2	
Tumpuan interior 2	Pokok	6,331,156.4	188.148	D10 - 200	471.0	15,481,825.41
	susut		219.429	D10 - 300	340.2	

b. Lantai Dasar



Gambar 5.3 Tipe Pelat Sumbu 3-2:G-H

Adapun data-data perancangan untuk penulangan plat lantai :

- Dimensi pelat
  - $L_y = 6000 - \left(\frac{400}{2} + \frac{400}{2}\right) = 5600 \text{ mm}$
  - $L_x = 6000 - \left(\frac{400}{2} + \frac{400}{2}\right) = 5600 \text{ m}$
  - $\frac{L_y}{L_x} = \frac{5600}{5600} = 1 \text{ mm} < 2 \text{ (Pelat Dua Arah)}$
- Tebal pelat 20 mm
- Tebal decking 20 mm (SNI 2847:2013 Ps. 7.7.2)
- Diameter tulangan rencana 13 mm
- Mutu tulangan baja  $f_y = 400 \text{ MPa}$
- Mutu beton  $f_c' = 30 \text{ MPa}$

#### Beban Mati

- Berat sendiri  $= t_{\text{pelat}} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ m}$   
 $= 0,2 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m}$   
 $= 4,704 \text{ kN/m}$
- Beban keramik+spesi  $= 1,10 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m}$   
 $= 1,10 \text{ kN/m}$

$$q_{DL} = 5,804 \text{ kN/m}$$

#### Beban Hidup

- Beban hidup lantai kantor  $= 2,4 \text{ kN/m}^2$
  - Beban partisi (untuk beban hidup  $< 3,83 \text{ kN/m}^2$ )  $= 0,72 \text{ kN/m}^2$
- $$q_{LL} = (2,4 \text{ kN/m}^2 + 0,72 \text{ kN/m}^2) \times 1 \text{ m} = 3,12 \text{ kN/m}$$

#### Beban Ultimit

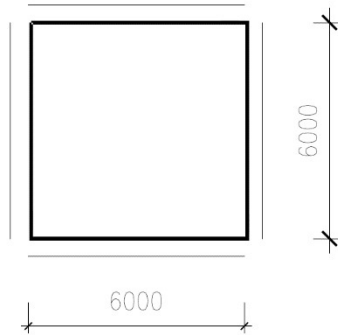
$$q_{U1} = 1,4 q_{DL} = 1,4 (5,804) = 8,126 \text{ kN/m}$$

$$q_{U2} = 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} = 1,2 (5,804) + 1,6 (3,12) = 11,957 \text{ kN/m}$$

(menentukan)

Untuk menganalisa gaya – gaya dalam yang terjadi pada pelat digunakan Peraturan Beton Bertulang Indonesia ( PBBI 1971 pasal

13.3 tabel 13.3.1 hal 202 ).Perhitungan momen yang terjadi pada pelat diasumsikan sebagai **terjepit penuh** pada ke empat tumpuannya sehingga perhitungannya menggunakan persamaan sebagai berikut :



Catatan: Satuan dalam mm

**Gambar. 5.3** Kondisi Pelat 3-2:F-G

Dengan menggunakan koefisien momen PBI 1971 tabel 13.3.2 didapat persamaan momen sebagai berikut : ( $L_y/L_x = 1$ )

Dari table didapat: Tumpuan :  $X_x = 36$  ;  $X_y = 36$

Lapangan :  $X_x = 36$  ;  $X_y = 36$

$$M_{lx} = 0.001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{tx} = -0.001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{ly} = 0.001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$M_{ty} = -0.001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X$$

Dimana :  $M_{lx}$  = Momen lapangan arah x

$M_{ly}$  = Momen lapangan arah y

$M_{tx}$  = Momen tumpuan arah x

$M_{ty}$  = Momen tumpuan arah y

X= Nilai konstanta dari perbandingan  $L_y/L_x$

Beban Mati

- Berat sendiri =  $t \cdot \text{pelat} \times \gamma_{\text{beton}} \times 1 \text{ m}$   
 $= 0,12 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m} = 2,822 \text{ kN/m}$
- Beban keramik+spesi =  $1,10 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 1,10 \text{ kN/m}$   
 $q_{DL} = 3,922 \text{ kN/m}$

Beban Hidup

- Beban hidup lantai kantor =  $2,4 \text{ kN/m}^2$
- Beban partisi (untuk beban hidup  $< 3,83 \text{ kN/m}^2$ ) =  $0,72 \text{ kN/m}^2$   
 $q_{LL} = (2,4 \text{ kN/m}^2 + 0,72 \text{ kN/m}^2) \times 1 \text{ m} = 3,12 \text{ kN/m}$

Beban Ultimit

$$q_{U1} = 1,4 q_{DL} = 1,4 (3,922) = 5,491 \text{ kN/m}$$

$$q_{U2} = 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} = 1,2 (3,922) + 1,6 (3,12) = 9,698 \text{ kN/m}$$

**(menentukan)**

$$M_{lx} = M_{ly} = 0,001 \cdot q_u \cdot Lx^2 \cdot X$$

$$= 0,001 \times 9,698 \times 6,8^2 \times 36 = 16,144 \text{ kNm}$$

$$M_{tx} = M_{ty} = -0,001 \cdot q_u \cdot Lx^2 \cdot X$$

$$= -0,001 \times 9,698 \times 6,8^2 \times 36 = -16,144 \text{ kNm (+)}$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0,85 - \left( \frac{28 - 30}{28 - 35} \right) (0,85 - 0,8) = 0,836 \approx 0,84$$

(SNI 2847:2013 Pasal 10.2.7.3)

Tulangan BJTD 40, D10,  $f_y = 390 \text{ MPa}$ 

$t_p = 120 \text{ mm}$  ; selimut pelat =  $20 \text{ mm}$  (SNI 2847-2013 pasal 7.7.1(c))

$$d = t_p - \text{selimut} - \frac{D_{\text{tul.utama}}}{2} = 200 - 20 - \frac{13}{2} = 173,5 \text{ mm}$$

Tumpuan X

1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{M_u}{\phi f_y (jd)}$$

Asumsi lengan momen lentur tulangan,  $jd$ , sebesar  $0,9d$ .

Penampang juga diasumsikan dalam keadaan *tension controlled*  
 $\phi = 0,9$ . (SNI 2847:2013Ps. 9.3.2.1)

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,90d)}$$

$$A_s \geq \frac{19,498 \times 10^6}{0,9(400)(0,90 \times 173,5)}$$

$$A_s \geq 364,857 \text{ mm}^2$$

## 2. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{364,857 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1000} = 5,441 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,441}{0,836} = 6,510 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} (173,5) = 65,0625 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t$  ..... (*tension controlled*, asumsi awal benar)

## 3. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{19,498 \times 10^6}{0,9 \times 400 \left(173,5 - \frac{5,155}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 316,878 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{316,878}{1000 \times 173,5} = 0,001826$$



#### 4. Cek syarat minimum tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan kebutuhan tulangan minimum terhadap suhu dan susut terdapat pada SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1 :

(g) Slab yang menggunakan mutu 280 atau 350,  $\rho_{min} = 0,0020$

(h) Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420,  $\rho_{min} = 0,0018$

Digunakan  $f_y = 400$  MPa, maka dilakukan interpolasi.

$$\rho_{min} = 0,002 - \frac{(280 - 400)}{(280 - 420)}(0,002 - 0,0018) = 0,001828$$

$\rho > \rho_{min}$  , ..... (untuk tul. utama pakai  $\rho_{min}$ ).

$$\begin{aligned} A_{s_{min}} = A_{perlu} &= \rho_{min} bd = 0,001828 \times 1000 \times 173,5 \\ &= 317,257 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### 5. Menentukan tulangan terpasang

##### Tulangan Utama

$$A_{s_{perlu}} = 317,257 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan (n)

$$A_{tulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi (13)^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{tulangan}} = \frac{317,257}{132,665} = 2,39 \approx 3 \text{ buah}$$

#### 6. Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan (SIN 2847:2013 Ps 10.5.4) bahwa spasi maksimum antar tulangan untuk slab tiak boleh melebihi nilai terkecil dari tiga kali tebal slab atau 450 mm (disini nilai terkecil adalah 3 x tebal slab). Dan Pada (SIN 2847:2013 Ps 13.3.2) disebutkan bahwa spasi

tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab ( $\leq 2 \times 200 = 400 \text{ mm}$ )

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1m :

$$\text{Jarak antar tulangan} = \frac{1000}{3-1} = 500 \text{ mm} \geq 400 \text{ mm} \text{ Jarak Direvisi!!!}$$

Maka digunakan jarak tulangan yaitu  $s_{tul.perlu} : 200 \text{ mm}$

$$n_{pasang} = \frac{1000 + s_{perlu}}{s_{perlu}} = \frac{1000 + 200}{200} = 6 \text{ buah}$$

$$A_{spasang} = n_{pasang} \times A_{tulangan} = 6 \times 132,665 = 795,99 \text{ mm}^2$$

**Digunakan tulangan D13-200**

Tulangan Pembagi (tulangan suhu dan susut)

Didapatkan  $p_{susut} = 0.00183$  untuk  $f_y = 400 \text{ MPa}$  (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.1)

$$\begin{aligned} A_s \text{ susut} &= 0.00183 \times b \times h \\ &= 0.00183 \times 1000 \times 200 \\ &= 365.714 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut

$$S = \frac{A_{stulangan}}{A_{susut}} = \frac{132,665 \times 1000}{365,714} = 357,75 \text{ mm}$$

$$S < 5h = 5 \times 200 = 1000 \text{ mm (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.2)}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak tulangan : 300 mm

**Digunakan tulangan D10-300**

7. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266.67 \text{ MPa}$$

$c_c = 20 \text{ mm}$  (Jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka Tarik)

Keterangan :

$c_c$  : Jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

$f_s$  : tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan MPa

$$s = 380 \left( \frac{280}{266.67} \right) - 2.5 \times 20 = 349 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

.....(ok)

$$s_{max} = 300 \left( \frac{280}{266.67} \right) = 315 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

.....(ok)

## 8. Kontrol lendutan

Lendutan maksimum yang diijinkan dalam SNI 2847:2013

Ps.9.5.3.1 tabel 9.5(b) untuk pelat lantai untuk lendutan seketika akibat beban hidup (LL) adalah :

$$\delta_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{5600}{360} = 15,56 \text{ mm}$$

$$Ec = 4700\sqrt{f_y} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$Q = 1\text{DL} + 1\text{LL} = 580 + 312 = 892 \text{ kg/m}^2 \times 1\text{m} = 892 \text{ kg/m} = 8.92 \text{ N/mm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1000 \times 200^3}{12} = 6.67 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\delta^o = \left( \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L^4}{EI} \right) = \left( \frac{5}{384} \times \frac{8.924 \times 5600^4}{25742.96 \times 6.67 \times 10^8} \right)$$

$$\delta^o = 6.66 \text{ mm}$$

$$6.66 \text{ mm} < \delta \text{ ijin} = 15.56 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{(OK)}$$

#### 9. Kontrol ketebalan plat terhadap geser

Nilai geser yang terjadi pada penampang pelat dihitung sesuai *SNI 2847:2013 Ps.8.3.3*, untuk pelat geser yang terjadi pada penampang ditahan oleh kuat geser beton  $V_c$  yang dihitung sesuai *SNI 2847:2013 Ps.11.2.1*.

$$V_u = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{11957 \times 5.6}{2} = 33479,04 \text{ N}$$

$$V_c = (0.17 \lambda \sqrt{f_c'}) \times b_w \times d$$

$$= (0.17 \times 1 \sqrt{30}) \times 1000 \times 173,5 = 161550,77 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 161550,77 = 121163,08 \text{ N}$$

$$\phi V_c \geq V_u = 121163,08 \text{ N} > 33479,04 \text{ N} \dots \dots \dots \text{(OK)}$$

#### 10. Cek Kapasitas Penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \times f_c' \times b} = \frac{795,99 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1000} = 12,49 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - 0.5a)$$

$$= 0.9 \times 795,99 \times 400 (95 - (0.5 \times 12,49))$$

$$= 47928546,94 \text{ Nmm}$$

$$Mu \leq \phi Mn$$

$$19498192,90 \text{ Nmm} < 47928546,94 \text{ Nmm} \dots\dots\dots ( \text{OK} )$$

### Lapangan X

1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{Mu}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{Mu}{\phi f_y (jd)}$$

Asumsi lengan momen lentur tulangan,  $jd$ , sebesar  $0,9d$ .  
 Penampang juga diasumsikan dalam keadaan *tension controlled* ( $\phi = 0,9$ ).

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,90d)}$$

$$A_s \geq \frac{7,874 \times 10^6}{0,9(400)(0,90 \times 173,5)}$$

$$A_s \geq 140,077 \text{ mm}^2$$

2. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{140,077 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1000} = 2,197 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,197}{0,836} = 2,629 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} (173,5) = 65,063 \text{ mm}$$

$$c \leq 3/8 d_t \dots\dots (tension controlled, \text{asumsi awal benar})$$

### 3. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{7,874 \times 10^6}{0,9 \times 400 \left(95 - \frac{2,082}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 126.83 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{126,83}{1000 \times 173,5} = 0.000731$$

### 4. Cek syarat minimum tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan kebutuhan tulangan minimum terhadap suhu dan susut terdapat pada SNI 2847:2013 pasal 7.12.2.1 :

- (i) Slab yang menggunakan mutu 280 atau 350,  $\rho_{min} = 0,0020$
- (j) Slab yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420,  $\rho_{min} = 0,0018$

Digunakan  $f_y = 400 \text{ MPa}$ , maka dilakukan interpolasi.

$$\rho_{min} = 0.002 - \frac{(280 - 400)}{(280 - 420)}(0.002 - 0.0018) = 0.001828$$

$\rho > \rho_{min}$  , ..... (untuk tul. utama pakai  $\rho_{min}$ ).

$$\begin{aligned} A_{s_{min}} &= A_{perlu} = \rho_{min} bd = 0.001828 \times 1000 \times 173,5 \\ &= 317,257 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### 5. Menentukan tulangan terpasang

#### Tulangan Utama

$$A_{sperlu} = 317,257 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan (n)

$$A_{tulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi (13)^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{sperlu}}{A_{tulangan}} = \frac{317,257}{132,665} = 2,39 \approx 3 \text{ buah}$$

### 6. Kontrol jarak tulangan

Berdasarkan (SIN 2847:2013 Ps 10.5.4) bahwa spasi maksimum antar tulangan untuk slab tiak boleh melebihi nilai terkecil dari tiga kali tebal slab atau 450 mm (disini nilai terkecil adalah 3 x tebal slab). Dan Pada (SIN 2847:2013 Ps 13.3.2) disebutkan bahwa spasi tulangan pada penampang kritis tidak boleh melebihi dari dua kali tebal slab ( $\leq 2 \times 200 = 400 \text{ mm}$ )

Jarak tulangan utama dalam tinjauan 1m :

$$\text{Jarak antar tulangan} = \frac{1000}{3-1} = 500 \text{ mm} \geq 400 \text{ mm} \text{ Jarak Dkoreksi}$$

Maka digunakan jarak tulangan yaitu  $s_{tul.perlu} : 200 \text{ mm}$

$$n_{pasang} = \frac{1000 + s_{perlu}}{s_{perlu}} = \frac{1000 + 200}{200} = 6 \text{ buah}$$

$$A_{spasang} = n_{pasang} \times A_{tulangan} = 6 \times 132,665 = 795,99 \text{ mm}^2$$

**Digunakan tulangan D13-200,  $A_s = 471 \text{ mm}^2$**

#### Tulangan Pembagi (tulangan suhu dan susut)

Didapatkan psusut = 0.00183 untuk  $f_y = 400 \text{ MPa}$  (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.1)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ susut} &= 0.00183 \times b \times h \\
 &= 0.00183 \times 1000 \times 200 \\
 &= 365.714 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak tulangan susut

$$S = \frac{A_{stulangan}}{A_{susut}} = \frac{132,665 \times 1000}{365,714} = 362,75 \text{ mm}$$

$$S < 5h = 5 \times 200 = 1000 \text{ mm (SNI 2847:2013 Ps. 7.12.2.2)}$$

$$S \leq 450 \text{ mm}$$

Maka digunakan jarak tulangan : 300 mm

### **Digunakan tulangan D10-300**

7. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266.67 \text{ MPa}$$

$c_c = 20 \text{ mm}$  (Jarak terkecil dari permukaan tulangan ke muka Tarik)

Keterangan :

$c_c$  : Jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

$f_s$  : tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan MPa

$$s = 380 \left( \frac{280}{266.67} \right) - 2.5 \times 20 = 349 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \dots(\text{ok})$$

$$s_{max} = 300 \left( \frac{280}{266.67} \right) = 315 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \dots(\text{ok})$$



### 11. Kontrol lendutan

Lendutan maksimum yang diijinkan dalam SNI 2847:2013

Ps.9.5.3.1 tabel 9.5(b) untuk pelat lantai untuk lendutan seketika akibat beban hidup (LL) adalah :

$$\delta_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{5600}{360} = 15,56 \text{ mm}$$

$$Ec = 4700\sqrt{fy} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$Q = 1DL + 1LL = 580 + 312 = 892 \text{ kg/m}^2 \times 1\text{m} = 892 \text{ kg/m} = 8.92 \text{ N/mm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1000 \times 200^3}{12} = 6.67 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\delta^o = \left( \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L^4}{EI} \right) = \left( \frac{5}{384} \times \frac{8.924 \times 5600^4}{25742.96 \times 6.67 \times 10^8} \right)$$

$$= 6.66 \text{ mm}$$

$$6.66 \text{ mm} < \delta \text{ ijin} = 15.56 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

### 12. Kontrol ketebalan plat terhadap geser

Nilai geser yang terjadi pada penampang pelat dihitung sesuai *SNI 2847:2013 Ps.8.3.3*, untuk pelat geser yang terjadi pada penampang ditahan oleh kuat geser beton  $V_c$  yang dihitung sesuai *SNI 2847:2013 Ps.11.2.1*.

$$V_u = \frac{W_u \cdot l_n}{2} = \frac{11957 \times 5.6}{2} = 33479,04 \text{ N}$$

$$V_c = \left( 0.17 \lambda \sqrt{f_c'} \right) x b w x d$$

$$= (0.17 \times 1 \sqrt{30}) \times 1000 \times 173,5 = 161550,77 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 161550,77 = 121163,08 \text{ N}$$

$$\phi V_c \geq V_u = 121163,08 \text{ N} > 33479,04 \text{ N} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

### 13. Cek Kapasitas Penampang

$$a = \frac{As \cdot fy}{0.85 \cdot x \cdot fc' \cdot xb} = \frac{795,99 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1000} = 12,49 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\phi Mn &= \phi \cdot As \cdot fy \cdot (d - 0.5a) \\ &= 0.9 \times 795,99 \times 400 (95 - (0.5 \times 12,49)) \\ &= 47928546,94 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$Mu \leq \phi Mn$$

$$19498192,90 \text{ Nmm} < 47928546,94 \text{ Nmm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

**Tabel 5.2** Penulangan Plat Lantai

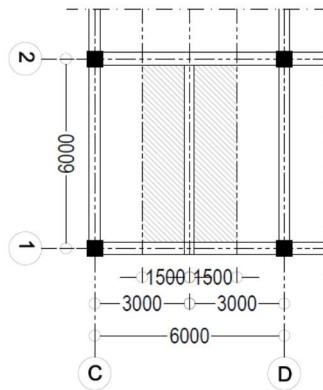
Lokasi		Mu (Nmm)	As Perlu (mm <sup>2</sup> )	Kebutuhan Tulangan	As pasang (mm <sup>2</sup> )	φMn (Nmm)
a	b	b	c	d	e	f
Tumpuan X	Pokok	19,498,192.9	316.878	D13 - 200	796.0	47,928,546.94
	susut		365.714	D13 - 300	574.9	
Lapangan X	Pokok	7,874,270.2	126.830	D13 - 200	796.0	47,928,546.94
	susut		365.714	D13 - 300	574.9	
Tumpuan Y	Pokok	19,498,192.9	316.878	D13 - 200	796.0	47,928,546.94
	susut		365.714	D13 - 300	574.9	
Lapangan Y	Pokok	7,874,270.2	126.830	D13 - 200	796.0	47,928,546.94
	susut		365.714	D13 - 300	574.9	

## 5.2 Perhitungan Struktur Balok Sekunder

Struktur balok sekunder yang dihitung pada bab ini merupakan balok yang membagi balok utama. Balok sekunder ini atau balok anak ini digunakan pada lantai 2 hingga lantai atap. Sebagai contoh perhitungan ditinjau balok anak pada lantai.

### 5.2.1. Pembebanan Balok Sekunder

Balok anak pada as F':2-3 memikul beban mati dari panel F-F': 2-3 dan panel F'-G:2-3. Karena kedua panel ini merupakan pelat satu arah, maka balok anak ini menerima distribusi beban dari setengah luasan masing-masing panel. Distribusi beban tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.4.



Catatan : satuan panjang dalam mm

**Gambar 5.4** Distribusi Beban Pelat Ke Balok Anak

$$L_{n1} = 3000/2 = 1500 \text{ mm}$$

$$L_{n2} = 3000/2 = 1500 \text{ mm}$$

#### Beban Mati

Dari pelat lantai :

- Berat sendiri pelat =  $t_{\text{pelat}} \times \gamma_{\text{beton}}$   
 $= 0,12 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 = 2,82 \text{ kN/m}^2$
- Beban keramik+spesi  $= 1,10 \text{ kN/m}^2$
- Beban ducting mekanikal  $= 0,19 \text{ kN/m}^2$

- Beban plafon  $= 0,05 \text{ kN/m}^2$
- Beban penggantung plafon  $= 0,10 \text{ kN/m}^2$   
 $q_{DL} = 4,262 \text{ kN/m}^2$   
 $w_{DL1} = q_{DL} \times (L_{n1} + L_{n2})$   
 $= 4,262 \text{ kN/m}^2 (1,5 + 1,5) \text{ m} = 12,787 \text{ kN/m}$

Dari balok anak :

$$w_{DL2} = 0,3 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 = 3,175 \text{ kN/m}$$

Beban mati total :

$$w_{DL} = w_{DL1} + w_{DL2} = 15,962 \text{ kN/m}$$

#### Beban Hidup

$$\text{Beban hidup lantai kantor} = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban partisi (untuk beban hidup} < 3,83 \text{ kN/m}^2) = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{LL} = 2,4 \text{ kN/m}^2 + 0,72 \text{ kN/m}^2 = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{LL} = q_{LL} \times (L_{n1} + L_{n2})$$

$$= 3,12 \text{ kN/m}^2 \times (1,5 + 1,5) \text{ m} = 9,36 \text{ kN/m}$$

#### Beban Ultimit

$$w_{U1} = 1,4 w_{DL}$$

$$= 1,4 (15,962) = 22,347 \text{ kN/m}$$

$$w_{U2} = 1,2 w_{DL} + 1,6 w_{LL}$$

$$= 1,2 (15,962) + 1,6 (9,36) = 34,13 \text{ kN/m}$$

→  $w_{u2}$  menentukan

### **5.2.2. Analisis Struktur Balok Sekunder**

Analisis struktur balok anak bertujuan untuk mengetahui momen lentur dan gaya geser yang bekerja pada balok anak. Besarnya momen lentur dan gaya geser dihitung sesuai ketentuan SNI 2847:2013 pasal 8.3.3.

$$L = 5,6 \text{ m}$$

$$M_{t\text{ Interior}_1} = \frac{1}{10} w_u L_x^2 = \frac{1}{10} (34,13) \cdot (5,6)^2 = 107,03 \text{ kNm}$$

$$M_{lap} = \frac{1}{16} w_u L_x^2 = \frac{1}{16} (34,13) \cdot (5,6)^2 = 66,9 \text{ kNm}$$

$$M_{t\text{ Interior}_2} = \frac{1}{11} w_u L_x^2 = \frac{1}{11} (34,13) \cdot (5,6)^2 = 97,3 \text{ kNm}$$

$$V_u = \frac{w_u l_n}{2} = \frac{34,13 \times 5,6}{2} = 95,57 \text{ kN}$$

### 5.2.3. Perhitungan Tulangan Balok Sekunder

Perhitungan tulangan balok sekunder bertujuan untuk mengetahui jumlah dan diameter tulangan utama serta jumlah kaki, jarak, dan diameter sengkang. Perhitungan ini dibuat berdasarkan momen lentur dan gaya geser hasil analisis struktur.

#### Data Perencanaan

Beton  $f'_c$  : 30 MPa

Tulangan BJTD 40,  $f_y$  : 400 MPa

Tul. utama : D16

Sengkang : D10

Dimensi : 300 mm x 450 mm

$d = h - \text{selimut} - D_{\text{sengkang}} - D_{\text{tul.utama}}/2 = 450 - 40 - 10 - 16/2 = 392 \text{ mm}$

#### Tumpuan 1

1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{M_u}{\phi f_y (jd)}$$

Untuk daerah momen negatif, lengan momen lentur tulangan,  $jd$ , dapat diasumsikan sebesar  $0,9d$  (MacGregor,2009). Penampang juga diasumsikan dalam keadaan *tension controlled* ( $\phi = 0,9$ )

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,90d)}$$

$$A_s \geq \frac{107,034 \times 10^6}{0,9 \times 400 \times 0,9 \times 392}$$

$$A_s \geq 842,73 \text{ mm}^2$$

## 2. Menentukan lebar efektif balok-T

Lebar efektif balok-T ditetapkan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 8.12.2.

$$b_{eff1} \leq \frac{L}{4} = \frac{5600}{4} = 1400 \text{ mm}$$

$$b_{eff2} \leq b_w + 16h_f = 350 + 16(120) = 1955 \text{ mm}$$

Digunakan  $b_{eff} = 1400 \text{ mm}$

## 3. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{842,73 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1400} = 9,44 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{9,44}{0,836} = 11,38 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} 392 = 147 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t \dots$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

## 4. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s\text{ perlu}} \geq \frac{107,034 \times 10^6}{0,9 \times 400 \left(392 - \frac{9,44}{2}\right)}$$

$$A_{s\text{ perlu}} \geq 767.71 \text{ mm}^2$$

##### 5. Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

Kebutuhan tulangan minimum ditetapkan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1.

$$\text{syarat : } A_{s\min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$A_{s\min} = \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} 300 \times 392 = 402,58 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} 300 \times 392 = 411,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\min} = 411,6 \text{ mm}^2$$

Karena  $A_{s\text{ perlu}} > A_{s\min}$ , maka digunakan  $A_{s\text{ perlu}}$  untuk perhitungan.

##### 6. Menentukan tulangan utama terpasang

$$A_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan terpasang

$$n_{\text{tul}} = \frac{A_{s\text{ perlu}}}{A_{\text{tulangan}}} = \frac{824,74}{200,96} = 4,19 \approx 5 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan utama **5 D16** dengan  $A_s = 1004,8 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak tulangan :

$$s = \frac{b_w - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times D_{\text{senggang}}) - (n D_{\text{tul.utama}})}{n - 1}$$

$$s = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 16)}{5 - 1}$$

$$= 27 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (ok)}$$

#### 7. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266.67 \text{ MPa}$$

$$c_c = 40 \text{ mm (selimut beton)} + 10 \text{ mm (diameter sengkang)} = 50 \text{ mm}$$

$$s = 380 \left( \frac{280}{266.67} \right) - 2.5 \times 50 = 2003 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots \dots \text{(ok)}$$

$$s_{max} = 300 \left( \frac{280}{266.67} \right) = 315 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{(ok)}$$

#### 8. Kontrol lendutan

$$\delta_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{5600}{360} = 15,56 \text{ mm}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{f_y} = 4700 \sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$Q = 1\text{DL} + 1\text{LL} = 15,926 + 9.36 = 25,322 \text{ kN/m} = 25.322 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{300 \times 450^3}{12} = 2.278 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\delta^o = \left( \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L^4}{EI} \right) = \left( \frac{5}{384} \times \frac{25,322 \times 5600^4}{25742.96 \times 2.278 \times 10^9} \right)$$

$$= 5.53 \text{ mm}$$



$$5,53 \text{ mm} < \delta \text{ ijin} = 15,56 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

#### 9. Cek Kapasitas Penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1004,8 \times 400}{0,85 \times 30 \times 300} = 52,54 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - 0,5a) \\ &= 0,9 \times 803,8 \times 400 (442 - (0,5 \times 52,54)) \\ &= 132295041,51 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$1,07 \times 10^8 \text{ Nmm} < 1,32 \times 10^8 \text{ Nmm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

#### Lapangan

##### 1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,90d)}$$

$$A_s \geq \frac{66,896 \times 10^6}{0,9 \times 400 \times 0,9 \times 392}$$

$$A_s \geq 526,71 \text{ mm}^2$$

##### 2. Menentukan lebar efektif balok-T

$$b_{eff1} \leq \frac{L}{4} = \frac{5600}{4} = 1400 \text{ mm}$$

$$b_{eff2} \leq b_w + 16h_f = 350 + 16(120) = 1955 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan } b_{eff} = 1400 \text{ mm}$$

## 3. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{526,71 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1400} = 5,902 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{5,902}{0,836} = 7,11 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} 392 = 147 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t \dots$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

## 4. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{66,896 \times 10^6}{0,9 \times 400 \left( 392 - \frac{5,902}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 447,63 \text{ mm}^2$$

## 5. Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

Kebutuhan tulangan minimum ditetapkan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1.

$$\text{syarat : } A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} 300 \times 392 = 402,58 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} 300 \times 392 = 411,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 411,6 \text{ mm}^2$$

Karena  $A_{sperlu} > A_{smin}$ , maka digunakan  $A_{sperlu}$  untuk perhitungan.

6. Menentukan tulangan utama terpasang

$$A_{tulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 16^2 = 200,96 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan terpasang

$$n_{tul} = \frac{A_{sperlu}}{A_{tulangan}} = \frac{526,71}{200,96} = 2,62 \approx 3 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan utama 3 D16 dengan  $A_s = 602,88 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak tulangan :

$$s = \frac{b_w - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times D_{senggang}) - (nD_{tul.utama})}{n - 1}$$

$$s = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1}$$

$$= 56 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (ok)}$$

7. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266.67 \text{ MPa}$$

$$c_c = 40 \text{ mm (selimut beton)} + 10 \text{ mm (diameter sengkang)} = 50 \text{ mm}$$

$$s = 380 \left( \frac{280}{266.67} \right) - 2.5 \times 50 = 2003 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots\dots (\text{ok})$$

$$s_{max} = 300 \left( \frac{280}{266.67} \right) = 315 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{ok})$$

### Tumpuan 2

1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,90d)}$$

$$A_s \geq \frac{97,304 \times 10^6}{0,9 \times 400 \times 0,9 \times 392}$$

$$A_s \geq 766,125 \text{ mm}^2$$

2. Menentukan lebar efektif balok-T

$$b_{eff1} \leq \frac{L}{4} = \frac{5600}{4} = 1400 \text{ mm}$$

$$b_{eff2} \leq b_w + 16h_f = 350 + 16(120) = 1955 \text{ mm}$$

Digunakan  $b_{eff} = 1400 \text{ mm}$

3. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{766,125 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1400} = 8,584 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{8,584}{0,836} = 10,34 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} 392 = 147 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t \dots\dots$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

4. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{97,304 \times 10^6}{0,9 \times 400 \left(392 - \frac{8,584}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 697,15 \text{ mm}^2$$

5. Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

Kebutuhan tulangan minimum ditetapkan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1.

$$\text{syarat : } A_{s \min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$A_{s \min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} 300 \times 392 = 402,58 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} 300 \times 392 = 411,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = 411,6 \text{ mm}^2$$

Karena  $A_{s \text{ perlu}} > A_{s \min}$ , maka digunakan  $A_{s \text{ perlu}}$  untuk perhitungan.

6. Menentukan tulangan utama terpasang

$$A_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 16^2 = 200,96 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan terpasang

$$n_{\text{tul}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{\text{tulangan}}} = \frac{766,13}{200,96} = 3,81 \approx 4 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan utama 4 D16 dengan  $A_s = 803,84 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak tulangan :

$$s = \frac{b_w - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times D_{\text{senggang}}) - (nD_{\text{tul.utama}})}{n - 1}$$

$$s = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{4 - 1}$$

$$= 38 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (ok)}$$

7. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266.67 \text{ MPa}$$

$$c_c = 40 \text{ mm (selimut beton)} + 10 \text{ mm (diameter sengkang)} = 50 \text{ mm}$$

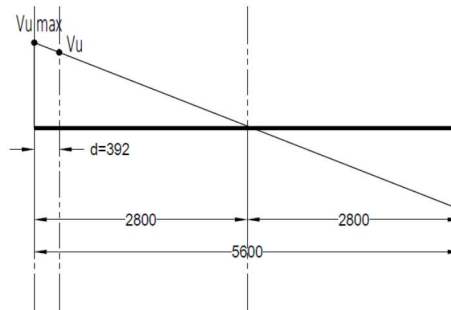
$$s = 380 \left( \frac{280}{266.67} \right) - 2.5 \times 50 = 2003 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots \dots \text{(ok)}$$

$$s_{\text{max}} = 300 \left( \frac{280}{266.67} \right) = 315 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{(ok)}$$

Menentukan tulangan geser terpasang

Gaya geser yang dipakai dalam perhitungan adalah gaya geser terfaktor,  $V_u$  sejarak  $d$  dari muka tumpuan sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.1.3.1 Gambar 5.3.

$$V_u = 95,57 \text{ kN (} L = 5600 \text{ mm)}$$



Catatan : satuan panjang dalam mm

**Gambar 5.5** Diagram Gaya Geser Balok Sekunder

$$V_{U'} = \frac{V_u}{2800} (2800 - d) = \frac{95,57}{2800} (2800 - 392) = 82,187 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1 Pers (11-3)})$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \sqrt{30} (300)(392) = 109500,69 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 109500,69 = 821255,20 \text{ N}$$

Keterangan :

$\phi$  : Faktor reduksi geser = 0,75 (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)

$V_{u'} > \phi V_c$ .. (butuh tulangan geser) SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.1

$\phi(V_c + V_s) \geq V_{u'}$  SNI 2847:2013 Pasal 11.1.1 Pers (11-1)

$$0,75(109500,69 + V_s) \geq 82,189 \text{ kN}$$

$$V_s \geq 27,45 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.2 Pers (11-15)}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y d} = \frac{27450}{400 \times 392} = 0,175 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan sengkang dua kaki D10,  $A_v = 2 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2) = 157,08 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{A_v}{0,175} = \frac{157,08}{0,175} = 896,55 \text{ mm}$$

Jarak sengkang,  $s$ , tidak boleh lebih dari:

$$s = \frac{d}{2} = \frac{392}{2} = 196 \text{ mm (SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1)}$$

Digunakan sengkang **2D10-150** pada daerah tumpuan dan sengkang **2D10-150** pada daerah lapangan.

### 5.3. Desain Struktur Tangga

Struktur tangga yang didesain meliputi pelat tangga, pelat bordes, serta balok bordes.

#### 5.3.1. Desain Struktur Pelat Tangga Dan Pelat Bordes

Spesifikasi teknik pelat tangga dan pelat bordes yang didesain adalah :

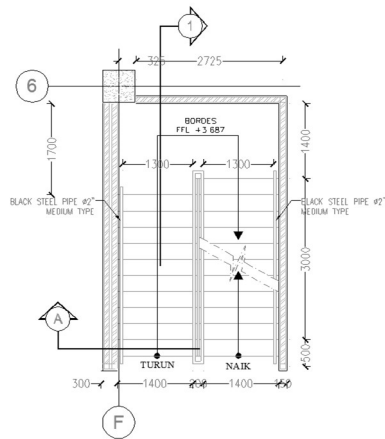
Beton  $f'c = 30 \text{ MPa}$

Tulangan BJTD 40, D16 dan D10,  $f_y = 400 \text{ MPa}$

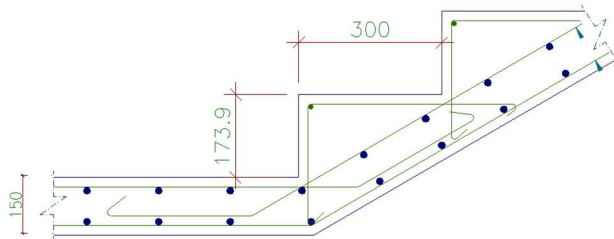
Tebal pelat tangga = 150 mm

Tebal pelat bordes = 150 mm





**Gambar 5.7** Denah Tangga Pada Lantai 2  
(Dalam Satuan Milimeter (mm))



**Gambar 5.9** Dimensi Lebar dan Tinggi Anak Tangga  
(Dalam Satuan Milimeter (mm))

Tebal efektif pelat tangga

$$\text{Luas } \Delta 1 = 0,5 \times l \times t = 0,5 \times 30 \times 17,4 = 261 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas } \Delta 2 = 0,5 \times (i^2 + t^2)^{0,5} \cdot d = 0,5 \times (30^2 + 17,4^2)^{0,5}$$

$$d = 17,3 \text{ d}$$

Persamaan luas  $\Delta 1 = \text{luas } \Delta 2$

$$261 = 17,3 \text{ d}$$

$$d = 15,08 \text{ cm}$$

$$0,5 \text{ d} = 7,54 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif pelat tangga} &= 15 \text{ cm} + 7,4 \text{ cm} \\ &= 22,4 \text{ cm} \sim 23 \text{ cm} \end{aligned}$$

### 5.3.1.1. Pembebanan Struktur Pelat Tangga Dan Pelat Bordes

Pelat tangga dan pelat bordes menerima kombinasi beban ultimit dari beban mati dan beban hidup.

a. Pelat Tangga

Beban mati (DL) → *PPIUG 1983 2.1. hal 12* :

- Berat Sendiri :  $\frac{t_{\text{pelat efektif}}}{\cos 30^\circ} \times \gamma \times 1,4$

$$\frac{0,23}{\cos 30^\circ} \times 23,52 \times 1,4 = 8,75 \text{ kN/m}$$

- Beban keramik + Spesi :  $0,77 \text{ kN/m}^2 \times 1,4 \text{ m} = 1,078 \text{ kN/m}$

Table C3-1 Ceramic, or quarry tile (19 mm) on 13 mm mortar bed)

$$w_{DL} = 9,828 \text{ kN/m}$$

#### Beban Hidup

$$\text{Beban hidup lantai tangga} = 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 1,4 \text{ m} = 6,706 \text{ kN/m}$$

#### Beban Ultimit

$$w_{U1} = 1,4 w_{DL}$$

$$= 1,4 (9,828) = 13,759 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{U2} = 1,2 w_{DL} + 1,6 w_{LL}$$

$$= 1,2 (9,828) + 1,6 (6,706) = 22,523 \text{ kN/m (menentukan)}$$

### b. Pelat Bordes

- Berat sendiri  $= t_{\text{pelat bordes}} \times \gamma_{\text{beton}} \times 2,8 \text{ m}$   
 $= 0,15 \times 23,52 \times 2,8 \text{ m} = 9,878 \text{ kN/m}$
- Beban keramik + Spesi :  $0,77 \text{ kN/m}^2 \times 2,8 \text{ m} = 2,156 \text{ kN/m}$   
Table C3-1 Ceramic, or quarry tile (19 mm) on 13 mm mortar bed)

$$w_{DL} = 11,943 \text{ kN/m}$$

#### Beban Hidup

$$\text{Beban hidup lantai tangga} = 4,79 \text{ kN/m}^2 \times 2,8 \text{ m} = 13,412 \text{ kN/m}$$

#### Beban Ultimit

$$w_{U1} = 1,4 w_{DL}$$

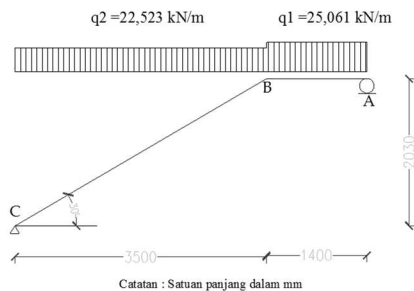
$$= 1,4 (11,943) = 16,720 \text{ kN/m}$$

$$w_{U2} = 1,2 w_{DL} + 1,6 w_{LL}$$

$$= 1,2 (11,943) + 1,6 (6,706) = 25,061 \text{ kN/m (menentukan)}$$

### 5.3.1.2. Analisis Struktur Pelat Tangga Dan Pelat Bordes

Pelat tangga dan bordes dimodelkan perletakan sendi dan rol sehingga dapat dianalisis dengan perhitungan statis tertentu. Model pembebanannya dapat dilihat pada Gambar 5.10. Hasil analisis strukturnya dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan Gambar 5.12.



**Gambar 5.10** Model Pembebanan Pelat Tangga dan Bordes

## a. Reaksi Perletakan

- $\sum M_C = 0$

$$R_A \times 4,9 - q_1 \times 1,4 \left( 3,5 + 1,4 \times \frac{1}{2} \right) - q_2 \times 3,5 \times \frac{3,5}{2} = 0$$

$$R_A = 58,226 \text{ kN}$$

- $\sum M_A = 0$

$$-R_C \times 4,9 + q_1 \times 1,4 \left( \frac{1}{2} \times 1,4 \right) + q_2 \times 3,5 \times \left( 1,4 + \frac{3,5}{2} \right) = 0$$

$$R_C = 55,688 \text{ kN}$$

Kontrol :  $\sum V = 0$

$$R_A + R_C - (q_1 \times 1,4) - (q_2 \times 3,5) = 0$$

$$58,226 + 55,688 - (25,061 \times 1,4) - (22,523 \times 3,5) = 0 \dots (\text{OK})$$

## b. Gaya Geser

Potongan x1

$$V_{x_1} = R_A - q_1 x_1 = 58,220 - (25,061 x_1)$$

$$\text{Untuk } x_1 = 0 \text{ m} \rightarrow V_{x_1} = 58,226 - (25,061 \times 0) = 58,226 \text{ kN}$$

$$\text{Untuk } x_1 = 1,4 \text{ m} \rightarrow V_{x_1} = 58,226 - (25,061 \times 1,4) = 23,141 \text{ kN}$$

Potongan x2

$$V_{x_2} = -R_C + q_2 x_2 = -55,688 + (22,523 x_1)$$

$$\text{Untuk } x_2 = 0 \text{ m} \rightarrow V_{x_2} = -55,688 + (22,523 \times 0) = -55,688 \text{ kN}$$

$$\text{Untuk } x_2 = 3,5 \text{ m} \rightarrow V_{x_2} = -55,688 + (22,523 \times 3,5) = 23,142 \text{ kN}$$

c. Momen

Potongan  $x_1$

$$M_{x_1} = R_A x_1 - q_1 x_1 \frac{x_1}{2} = 58,226 x_1 - 25,061 x_1 \frac{x_1}{2}$$

- Untuk  $x_1 = 0 \text{ m}$

$$M_A = 58,226 \times 0 - 25,061 \times 0 \times \frac{0}{2} = 0 \text{ kNm}$$

- Untuk  $x_1 = 1,4 \text{ m}$

$$M_B = 58,226 \times 1,4 - 25,061 \times 1,4 \times \frac{1,4}{2} = 56,956 \text{ kNm}$$

Potongan  $x_2$

$$M_{x_2} = R_C x_2 - q_2 x_2 \frac{x_2}{2} = 55,688 x_2 - 22,523 x_2 \frac{x_2}{2}$$

- Untuk  $x_2 = 0 \text{ m}$

$$M_C = 55,688 \times 0 - 22,523 \times 0 \times \frac{0}{2} = 0 \text{ kNm}$$

- Untuk  $x_2 = 3,5 \text{ m}$

$$M_B = 55,279 \times 3,5 - 22,120 \times 3,5 \times \frac{3,5}{2} = 50,991 \text{ kNm}$$

Momen Maksimum

Momen maksimum terjadi pada lokasi gaya geser = 0

- $V_{x_2} = 0$

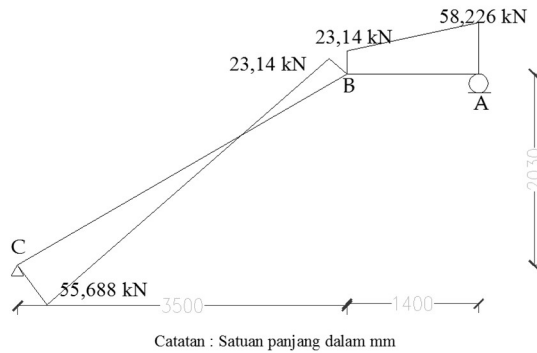
$$-R_C + q_2 x_2 = 0$$

$$-55,688 + 22,523 x_2 = 0$$

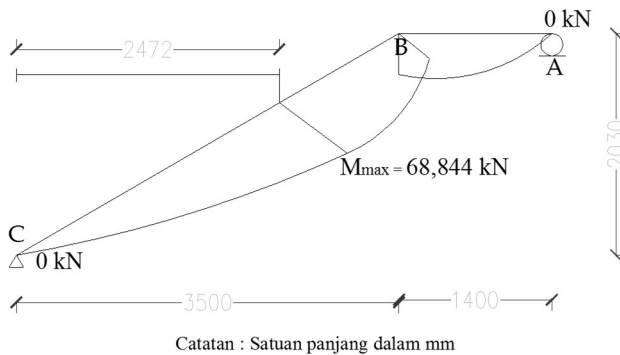
$$x_2 = 2,472 \text{ m}$$

- $$M_{\max} = R_C x_2 - q_2 x_2 \frac{x_2}{2}$$

$$= 55,688 \times 2,472 - 22,523 \times 2,472 \times \frac{2,472}{2} = 68.844 \text{ kNm}$$



**Gambar 5.11** Diagram Gaya Geser Pelat Tangga dan Pelat Bordes  
(Dalam Satuan Milimeter (mm))



**Gambar 5.12** Diagram Momen Pelat Tangga dan Pelat Bordes  
(Dalam Satuan Milimeter (mm))

### Reaksi dari tangga

Karena balok menerima reaksi dari 2 tangga, maka :

$$q_{reaksi} = 2R_A = 2 \times 55,688 \text{ kN} = 111,376 \text{ kN}$$

Reaksi dibagi sepanjang balok tangga 3,15 m

$$q = \frac{111,376 \text{ kN}}{3,15 \text{ m}} = 35,357 \text{ kN/m}$$

### **5.3.1.3. Perhitungan Tulangan Pelat Tangga Dan Bordes**

Untuk memudahkan pemasangan, tulangan pelat bordes dan pelat tangga dibuat sama. Momen desain yang digunakan adalah momen terbesar pada pelat tangga hasil analisis struktur ( $M_u = 68,844 \text{ kNm}$ ).

1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{M_u}{\phi f_y (jd)}$$

Karena pelat satu arah biasanya menggunakan rasio tulangan yang relatif sedikit, lengan momen lentur tulangan,  $jd$ , dapat diasumsikan sebesar  $0,95d$  untuk daerah momen negatif (MacGregor, 2009). Penampang juga diasumsikan dalam keadaan *tension controlled* ( $\phi = 0,9$ )

$$d = 150 - 20 - 13/2 = 123,5 \text{ mm}$$

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,95d)}$$

$$A_s \geq \frac{68.844 \times 10^6}{(0,95)(390)(0,95 \times 123,5)}$$

$$A_s \geq 1583,75 \text{ mm}^2$$

## 2. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{(1583,75)(390)}{(0,85)(30)(1400)} = 17,301 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{17,301}{0,85} = 20,35 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} (123,5) = 46,31 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t$  ..... (*tension controlled*, asumsi awal benar)

## 3. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{64,844 \times 10^6}{(0,9)(390) \left( 123,5 - \frac{17,301}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 1608,54 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{1608,54}{(1400)(123,5)} = 0,0093$$

## 4. Cek syarat minimum tulangan

Syarat minimum tulangan ditentukan berdasarkan kebutuhan tulangan minimum terhadap suhu dan susut.

Grade 280 atau 350,  $\rho_{min} = 0,0020$

Grade 420,  $\rho_{min} = 0,0018$

Digunakan  $f_y = 390 \text{ MPa}$ ,



$$\rho_{\min} = 0,002 - \frac{(390 - 280)}{(420 - 280)}(0,002 - 0,0018) = 0,00182$$

$$\rho_{\min} < \rho \text{ ..... (untuk tul. utama pakai } \rho)$$

$$A_{s\min} = \rho_{\min} bd = 0,00182(1400)(123,5) = 314,67 \text{ mm}^2$$

## 5. Menentukan tulangan terpasang

### Tulangan Utama

$$A_{s\text{perlu}} = 1608,54 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan tulangan D16-150, } A_s = 1809,55 \text{ mm}^2$$

### Tulangan Pembagi (tulangan suhu dan susut)

$$A_{s\min} = 314,67 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan tulangan D10-150, } A_s = 549,77 \text{ mm}^2$$

## 6. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (390) = 260 \text{ MPa}$$

$$c_c = 20 \text{ mm}$$

$$s = 380 \left( \frac{280}{260} \right) - (2,5)(20) = 359 \text{ mm}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right) = 300 \left( \frac{280}{260} \right) = 323 \text{ mm}$$

jarak antar tulangan terbesar = 150 mm  
(lebih kecil dari batas s, OK.)

### 5.3.2. Desain Balok Bordes

Balok bordes direncanakan untuk memikul beban mati dan reaksi perletakan dari tangga. Sebagai contoh perhitungan akan ditinjau balok bordes pada tangga yang menghubungkan lantai dasar dengan lantai 2.

#### 5.3.2.1. Pembebanan Balok Bordes

##### Beban Mati

- Berat sendiri  $= b \times h \times \gamma_{beton}$   
 $= 0,25 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 = 2,352 \text{ kN/m}^2$
- Beban dinding  $= 2,45 \text{ kN/m}^2 \times 1,913 \text{ m} = 4,686 \text{ kN/m}^2$   
 $q_{DL1} = 7,713 \text{ kN/m}^2$

##### Reaksi dari tangga

Karena balok menerima reaksi dari 2 tangga, maka :

$$q_{reaksi} = 2R_A = 2 \times 58,226 \text{ kN} = 116,452 \text{ kN}$$

Reaksi dibagi sepanjang balok tangga 3,15 m

$$q = \frac{116,452 \text{ kN}}{3,15 \text{ m}} = 36,988 \text{ kN/m}$$

##### Beban ultimit

$$\begin{aligned} w_{U1} &= 1,4 q_{DL1} + q_{reaksi} \\ &= 1,4 (7,713) + 36,988 \text{ kN/m} = 47,786 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} w_{U2} &= 1,2 q_{DL1} + 1,6 q_{LL} + q_{reaksi} \\ &= 1,2 (7,713) + 1,6(0) + 36,988 \text{ kN/m} = 46,243 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

→  $w_{ul}$  menentukan

#### 5.3.2.2. Analisis Struktur Balok Bordes

Balok bordes dimodelkan sebagai struktur statis tak tentu dengan perletakan jepit-jepit. Permodelannya ditampilkan pada Gambar 5.12. Besarnya momen lentur dan gaya geser dihitung sesuai ketentuan *SNI 2847-2013 pasal 8.3.3*.

$$M_{u\_tumpuan} = \frac{1}{11} w_u L_x^2 = \frac{1}{11} (47,786)(3,15)^2 = 43,105 \text{ kNm}$$

$$M_{u\_lapangan} = \frac{1}{16} w_u L_x^2 = \frac{1}{16} (47,786)(3,15)^2 = 29,634 \text{ kNm}$$

$$V_u = \frac{w_u l_n}{2} = \frac{(47,786)(3,15)}{2} = 75,263 \text{ kN}$$

### 5.3.2.3. Perhitungan Tulangan Balok Bordes

Spesifikasi teknis balok bordes yang didesain adalah :

Beton  $f'_c = 30 \text{ MPa}$

Tulangan BJTD 40,  $f_y = 390 \text{ MPa}$

Tul. Utama : D19

Sengkang : D10

Dimensi : 200 mm x 350 mm

$$d = h - \text{selimut} - D_{sengkang} - \frac{D_{tul.utama}}{2} = 350 - 40 - 19 - \frac{10}{2} = 286 \text{ mm}$$

### Tumpuan

1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{M_u}{\phi f_y (jd)}$$

Untuk daerah momen negatif, lengan momen lentur tulangan,  $jd$ , dapat diasumsikan sebesar  $0,9d$  (MacGregor, 2009). Penampang juga diasumsikan dalam keadaan *tension controlled* ( $\phi = 0,9$ )

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{43,105 \times 10^6}{(0,9)(390)(0,9 \times 286)}$$

$$A_s \geq 477,103 \text{ mm}^2$$

## 2. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{(477,103)(390)}{(0,85)(30)(200)} = 36,484 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{36}{0,85} = 29,508 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} (336) = 127,125 \text{ mm}$$

$$c \leq 3/8 d_t \dots \dots (\text{tension controlled, asumsi awal benar})$$

## 3. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{43,105 \times 10^6}{(0,9)(390) \left( 286 - \frac{36,484}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 458,646 \text{ mm}^2$$

## 4. Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

Kebutuhan tulangan minimum ditetapkan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1.

$$\text{syarat : } A_{s\min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w & \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$A_{s\min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25\sqrt{30}}{390} (200)(286) = 200,83 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{390} (200)(286) = 205,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\min} = 205,33 \text{ mm}^2$$

Karena  $A_{s\text{perlu}} > A_{s\min}$ , maka digunakan  $A_{s\text{perlu}}$  untuk perhitungan.

##### 5. Menentukan tulangan utama terpasang

Digunakan tulangan utama 3 D16 dengan  $A_s = 603,185 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak tulangan :

$$s = \frac{b_w - (2 \times \text{selimut}) - D_{\text{senggang}} - (nD_{\text{tul. utama}})}{n - 1}$$

$$= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1} = 26 \geq 25 \text{ mm (OK)}$$

##### 6. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

Keterangan :

$c_c$  : Jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

$f_s$  : tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan MPa

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (390) = 260 \text{ MPa}$$

$$c_c = 40 \text{ mm (selimut beton)} + 10 \text{ mm (diameter sengkang)} = 50 \text{ mm}$$

$$s = 380 \left( \frac{280}{260} \right) - (2,5 \times 50) = 284,23 \text{ mm}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right) = 300 \left( \frac{280}{260} \right) = 323,076 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar tulangan} = 26 \text{ mm} > 25 \text{ mm.... OK)}$$

### **Lapangan**

1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{M_u}{\phi f_y (jd)}$$

Untuk daerah momen positif, lengan momen lentur tulangan,  $jd$ , dapat diasumsikan sebesar  $0,95d$  (MacGregor, 2009). Penampang juga diasumsikan dalam keadaan *tension controlled* ( $\phi = 0,9$ )

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,95d)}$$

$$A_s \geq \frac{29,634 \times 10^6}{(0,9)(390)(0,95 \times 286)}$$

$$A_s \geq 310,73 \text{ mm}^2$$

## 2. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{(310,73)(390)}{(0,85)(30)(250)} = 23,761 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{23,761}{0,85} = 27,954 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} (286) = 107,25 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t \dots$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

## 3. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{29,634 \times 10^6}{(0,9)(390) \left( 286 - \frac{23,761}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 307,995 \text{ mm}^2$$

## 4. Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

Kebutuhan tulangan minimum ditetapkan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.1.

$$\text{syarat : } A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{30}}{390} (200)(286) = 200,831 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{390} (200)(286) = 205,333 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = 205,333 \text{ mm}^2$$

Karena  $A_{s \text{ perlu}} > A_{s \min}$ , maka digunakan  $A_{s \text{ perlu}}$  untuk perhitungan.

5. Menentukan tulangan utama terpasang

Digunakan tulangan utama 2 D16 dengan  $A_s = 402,123 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak tulangan :

$$s = \frac{b_w - (2 \times \text{selimut}) - D_{\text{senggang}} - (nD_{\text{tul.utama}})}{n - 1}$$

$$= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1} = 68 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

6. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

Keterangan :

$c_c$  : Jarak terkecil dari permukaan tulangan atau baja prategang ke muka tarik

$f_s$  : tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan MPa

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (390) = 260 \text{ MPa}$$

$$c_c = 40 \text{ mm (selimut beton)} + 10 \text{ mm (diameter sengkang)} = 50 \text{ mm}$$

$$s = 380 \left( \frac{280}{260} \right) - (2,5 \times 50) = 284,23 \text{ mm}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right) = 300 \left( \frac{280}{260} \right) = 323,076 \text{ mm}$$

Jarak antar tulangan = 62 mm (lebih kecil dari  $s$ , OK)



## 7. Menentukan tulangan geser terpasang

Gaya geser yang dipakai dalam perhitungan adalah gaya geser terfaktor,  $V_u$  **sejarak d** dari muka tumpuan sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.1.3.1 Karena balok menerima reaksi dari 2 tangga, maka :

$$q_{reaksi} = 2R_A = 2 \times 58,226 \text{ kN} = 116,452 \text{ kN}$$

Reaksi dibagi sepanjang balok tangga 3,15 m

$$q = \frac{116,452 \text{ kN}}{3,15 \text{ m}} = 36,988 \text{ kN/m}$$

$$R_{tangga} = 36,988 \text{ kN / m}$$

(Reaksi Tangga Pada Balok  $L=3000 \text{ mm}$ )

$$V_u = \frac{w_u l_n}{2} = \frac{(36,988)(3,15)}{2} = 58,256 \text{ kN}$$

$$V_u = 58,256 \text{ kN}$$

$$V_u' = \frac{V_u}{3400} (3400 - d) = \frac{58,256}{1575} (1575 - 286) = 47,677 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

(SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1 Pers (11-3))

$$= (0,17)(1)\sqrt{30} (200)(286) = 53260,541 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 53260,54 = 39945,406 \text{ N}$$

Keterangan :

$\phi$  : Faktor reduksi geser= 0,75 (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)

$V_u' > \phi V_c$ ..... (butuh tulangan geser) *SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.1*

$$\phi(V_c + V_s) \geq V_u' \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.1.1 Pers (11-1)}$$

$$0,75(53,260 + V_s) \geq 47,677$$

$$V_s \geq 10,309 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.2 Pers (11-15)}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y d} = \frac{10309}{(390)(286)} = 0,09 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang dua kaki D10,  $A_v = 2 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2) = 157,08 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{A_v}{0,09} = \frac{157,08}{0,09} = 1747,33 \text{ mm}$$

Jarak sengkang,  $s$ , tidak boleh lebih dari:

Digunakan sengkang 2D10-200 pada daerah tumpuan dan sengkang 2D10-200 pada daerah lapangan.

## 5.4 Perhitungan lift

### 5.4.1 Kapasitas lift

Kapasitas lift disesuaikan dengan jumlah lantai bangunan dan jumlah penumpang yang akan menggunakannya. Pada gedung ini direncanakan menggunakan 2 buah lift dengan kapasitas angkut masing-masing 10 orang.

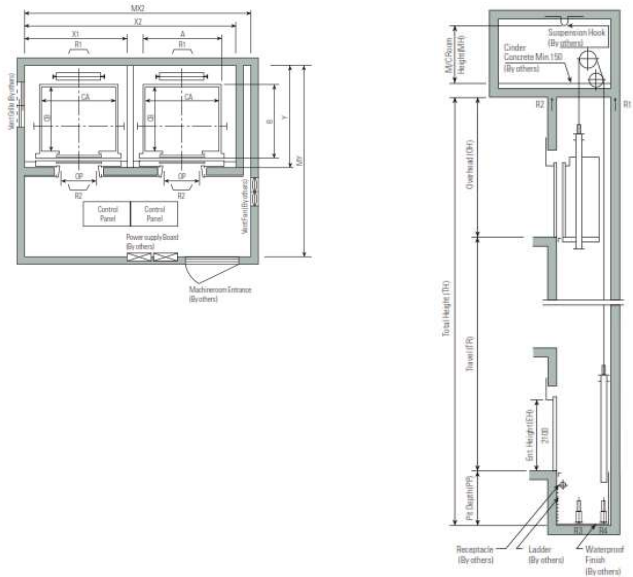
5.4.2 Data Teknis

Tabel 5.3 Spesifikasi Lift Produksi Hyundai Elevator

Capacity	Speed (m/sec)	Motor (Kw)	Door Opening	Reaction (Kg)	
Kg/Personal			(JxJ)	(Static Load)	
			WxH	R1	R2
700/10	1.5	7.5	800x2100	4200	2700

Tabel 5.3 Lanjutan

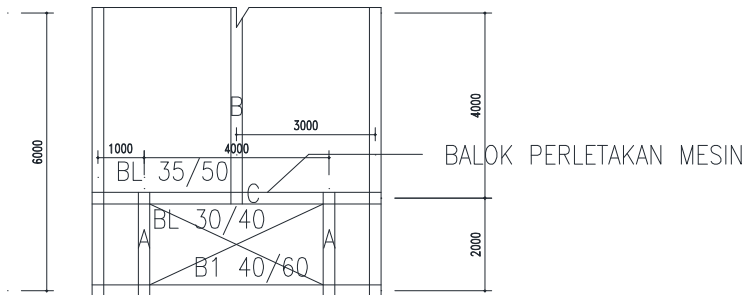
Inside Dimension (mm)						
Car		Hostway		Machine Room		
A	B	Y	X2	MY	MX2	MH
1460	1405	1850	3700	3600	4000	2400



Gambar 5.16 Elevator Hyundai Luxen

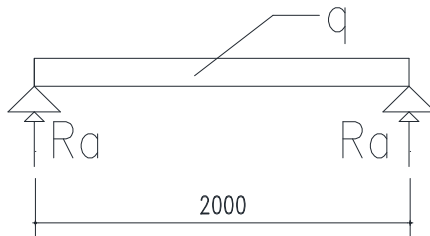
### 5.4.3 Perhitungan Balok Perletakan Mesin

Balok perletakan mesin berfungsi sebagai penambat mesin lift, posisi mesin berada di tengah balok. Jumlah balok perletakan mesin ada 2 buah dengan beban reaksi (R) yang berbeda, yaitu  $R_1 = 4200 \text{ Kg}$  dan  $R_2 = 2700 \text{ Kg}$ . Dimensi kedua jenis balok tersebut direncanakan 35/50 cm.



**Gambar 5.17** Denah Balok Perletakan Mesin

#### a. Balok A



#### Beban Mati

Dari pelat lantai :

- Berat sendiri pelat =  $t_{pelat} \times \gamma_{beton}$   
 $= 0,12 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 = 2,822 \text{ kN/m}^2$
  - Beban ducting mekanikal =  $0,19 \text{ kN/m}^2$
  - Beban plafon =  $0,05 \text{ kN/m}^2$
  - Beban penggantung plafon =  $0,10 \text{ kN/m}^2$
- $q_{DL} = 3,162 \text{ kN/m}^2$**

$$w_{DL1} = q_{DL} \times (1/2 L_{y1})$$

$$= 3,162 \text{ kN/m}^2 (1/2 \times 1) \text{ m} = 1,581 \text{ kN/m}$$

Dari balok A :

$$w_{DL2} = 0,30 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 = 2,822 \text{ kN/m}$$

Beban mati total :

$$w_{DL} = w_{DL1} + w_{DL2} = 4,463 \text{ kN/m}$$

Beban Hidup

$$\text{Beban hidup lantai Atap} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{LL} = q_{LL} \times 1/2 (L_{y1} + L_{y2})$$

$$= 0,96 \text{ kN/m}^2 \times 1/2 (1 + 4) \text{ m} = 2,4 \text{ kN/m}$$

Beban Ultimit

$$w_{U1} = 1,4 w_{DL}$$

$$= 1,4 (4,463) = 6,248 \text{ kN/m}$$

$$w_{U2} = 1,2 w_{DL} + 1,6 w_{LL}$$

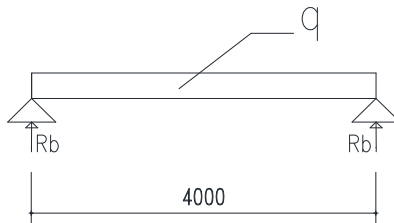
$$= 1,2 (4,463) + 1,6 (2,4) = 9,196 \text{ kN/m}$$

→  $w_{u2}$  menentukan

Reaksi Perletakan Balok A

$$R_a = \frac{1}{2} \times w_{u2} \times L = \frac{1}{2} \times 9,196 \times 2 = 9,196 \text{ kN}$$

b. Balok B



Beban Mati

Dari pelat lantai :

- Berat sendiri pelat =  $t_{pelat} \times \gamma_{beton}$   
 $= 0,12 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 = 2,822 \text{ kN/m}^2$
- Beban ducting mekanikal =  $0,19 \text{ kN/m}^2$

- Beban plafon =  $0,05 \text{ kN/m}^2$
- Beban penggantung plafon =  $0,10 \text{ kN/m}^2$   
 $q_{DL} = 3,162 \text{ kN/m}^2$

$$w_{DL1} = q_{DL} \times (1/2 L_y) \\ = 3,162 \text{ kN/m}^2 (1/2 \times 6) \text{ m} = 9,486 \text{ kN/m}$$

Dari balok B :

$$w_{DL2} = 0,35 \text{ m} \times 0,50 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 = 4,116 \text{ kN/m}$$

Beban mati total :

$$w_{DL} = w_{DL1} + w_{DL2} = 13,602 \text{ kN/m}$$

Beban Hidup

$$\text{Beban hidup lantai Atap} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{LL} = q_{LL} \times 1/2 (L_y) \\ = 0,96 \text{ kN/m}^2 \times 1/2 (6) \text{ m} = 2,88 \text{ kN/m}$$

Beban Ultimit

$$w_{U1} = 1,4 w_{DL} \\ = 1,4 (13,602) = 19,043 \text{ kN/m}$$

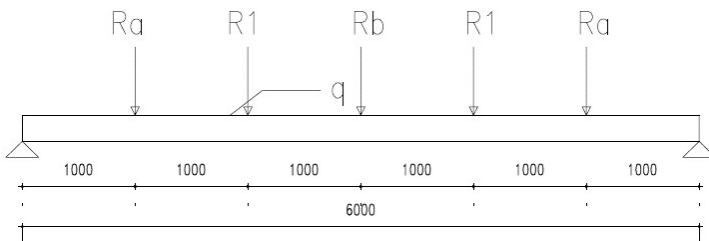
$$w_{U2} = 1,2 w_{DL} + 1,6 w_{LL} \\ = 1,2 (13,602) + 1,6 (2,88) = 20,930 \text{ kN/m}$$

→  $w_{u2}$  menentukan

Reaksi Perletakan Balok B

$$R_b = \frac{1}{2} \times w_{u2} \times L = \frac{1}{2} \times 20,930 \times 4 = 41,86 \text{ kN}$$

c. Balok C (balok perletakan mesin)



Beban Mati

Dari pelat lantai :

- Berat sendiri pelat =  $t_{pelat} \times \gamma_{beton}$   
 $= 0,12 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 = 2,822 \text{ kN/m}^2$
  - Beban ducting mekanikal =  $0,19 \text{ kN/m}^2$
  - Beban plafon =  $0,05 \text{ kN/m}^2$
  - Beban penggantung plafon =  $0,10 \text{ kN/m}^2$
- $q_{DL} = 3,162 \text{ kN/m}^2$**

$$w_{DL1} = q_{DL} \times (1/2 Ly)$$

$$= 3,162 \text{ kN/m}^2 (1/2 \times 6) \text{ m} = 9,486 \text{ kN/m}$$

Dari balok C :

$$w_{DL2} = 0,30 \text{ m} \times 0,40 \text{ m} \times 23,52 \text{ kN/m}^3 = 2,822 \text{ kN/m}$$

Beban mati total :

$$w_{DL} = w_{DL1} + w_{DL2} = 12,308 \text{ kN/m}$$

Beban Hidup

Beban hidup lantai Atap =  $0,96 \text{ kN/m}^2$

$$w_{LL} = q_{LL} \times 1/2 (Ly)$$

$$= 0,96 \text{ kN/m}^2 \times 1/2 (6) \text{ m} = 2,88 \text{ kN/m}$$

Beban Ultimit

$$w_{U1} = 1,4 w_{DL}$$

$$= 1,4 (12,308) = 17,231 \text{ kN/m}$$

$$w_{U2} = 1,2 w_{DL} + 1,6 w_{LL}$$

$$= 1,2 (12,308) + 1,6 (2,88) = 19,378 \text{ kN/m}$$

→  $w_{u2}$  menentukan

## Reaksi Perletakan Balok C

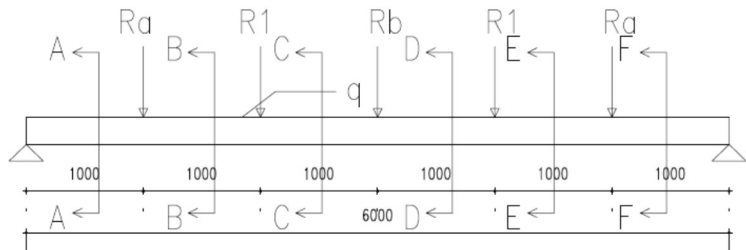
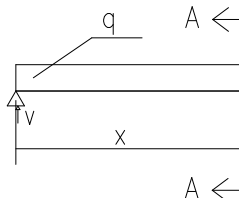
a. Gaya Geser

$$V = \frac{1}{2} \times ((w_{u2} \times L) + 2R_1 + 2R_a + R_b)$$

$$V = \frac{1}{2} \times ((19,378 \times 6) + 2 \times 42 + 2 \times 9,196 + 41,86)$$

$$V = 130,26 \text{ kN}$$

## b. Momen

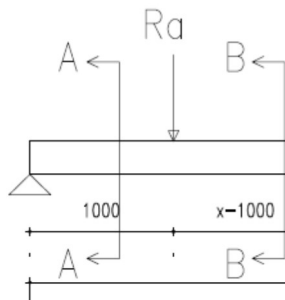
Potongan A-A

$$M_x = V \cdot x - \left( \frac{1}{2} q x^2 \right) = 130,26x - \left( \frac{1}{2} \times 19,378x^2 \right)$$

$$M_x = 130,26x - 9,689x^2$$

$$x=0 \text{ m} \quad \rightarrow M_x = 0 \text{ kNm}$$

$$x=1 \text{ m} \quad \rightarrow M_x = 120,571 \text{ kNm}$$

Potongan B-B



$$M_x = V \cdot x - \left(\frac{1}{2} q x^2\right) - R_a(x - 1)$$

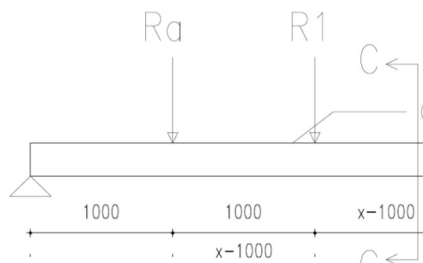
$$M_x = 130,26 \cdot x - \left(\frac{1}{2} 19,378 x^2\right) - 9,196(x - 1)$$

$$M_x = -9,689 x^2 + 121,064 x + 9,196$$

$$x=1 \text{ m} \quad \rightarrow M_x = 120,571 \text{ kNm}$$

$$x=2 \text{ m} \quad \rightarrow M_x = 212,568 \text{ kNm}$$

### Potongan C-C



$$M_x = V \cdot x - \left(\frac{1}{2} q x^2\right) - R_a(x - 1) - R_1(x - 2)$$

$$M_x = 130,26 \cdot x - \left(\frac{1}{2} 19,378 x^2\right) - 9,196(x - 1) - 42(x - 2)$$

$$M_x = -9,689 x^2 + 79,064 x + 93,196$$

$$x=2 \text{ m} \quad \rightarrow M_x = 212,586 \text{ kNm}$$

$$x=3 \text{ m} \rightarrow M_x = 243,187 \text{ kNm}$$

Potongan D-D

$$M_x = V \cdot x - \left( \frac{1}{2} q x^2 \right) - R_a(x-1) - R_1(x-2) - R_b(x-3)$$

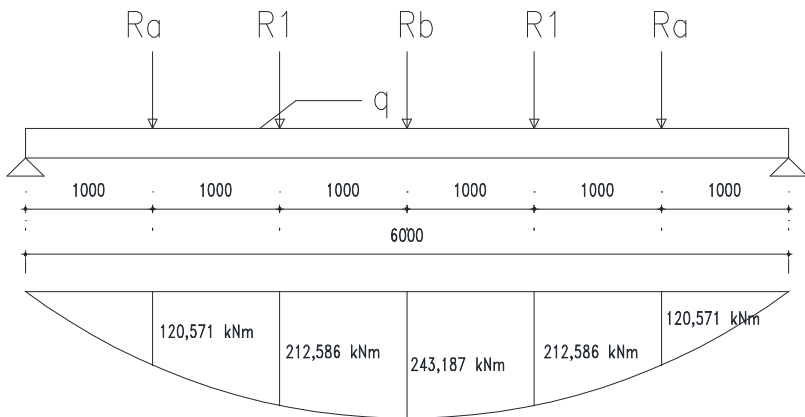
$$M_x = 130,26 \cdot x - \left( \frac{1}{2} 19,378 x^2 \right) - 9,196(x-1) - 42(x-2) - 41,86(x-3)$$

$$M_x = -9,689x^2 + 37,204x + 218,776$$

$$x=3 \text{ m} \rightarrow M_x = 243,187 \text{ kNm}$$

$$x=4 \text{ m} \rightarrow M_x = 212,586 \text{ kNm}$$

$$M_{\max} = 243,187 \text{ kNm}$$



**Gambar 5.18.** Diagram Momen Balok Lift Perletakan Mesin

#### 5.4.4. Perhitungan Tulangan Balok Perletakan Mesin

Perhitungan tulangan balok perletakan mesin bertujuan untuk mengetahui jumlah dan diameter tulangan utama serta jumlah kaki, jarak, dan diameter sengkang. Perhitungan ini dibuat berdasarkan momen lentur dan gaya geser hasil analisis struktur. Hasil perhitungan lengkapnya ditunjukkan oleh Gambar 5.4

##### a. Balok Perletakan Mesin (1)

Data Perencanaan

Beton  $f'_c = 30$  MPa

Tulangan BJTD 40,  $f_y = 390$  MPa

Tul. utama : D22

Sengkang : D10

Dimensi : 350 mm x 500 mm

$$d = h - \text{selimut} - D_{\text{sengkang}} - \frac{D_{\text{tul.utama}}}{2} = 500 - 40 - 10 - \frac{22}{2} = 439 \text{ mm}$$

##### 1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{M_u}{\phi f_y (jd)}$$

Untuk daerah momen negatif, lengan momen lentur tulangan,  $jd$ , dapat diasumsikan sebesar  $0,9d$  (MacGregor, 2009). Penampang juga diasumsikan dalam keadaan *tension controlled* ( $\phi = 0,9$ )

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,9d)}$$

$$A_s \geq \frac{243,187 \times 10^6}{(0,9)(400)(0,9 \times 439)}$$

$$A_s \geq 1709,74 \text{ mm}^2$$

## 2. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} = \frac{1709,74 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} = 76,62 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{76,62}{0,84} = 91,21 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} (439) = 164,625 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t \dots$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

## 3. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{243,187 \times 10^6}{(0,9)(400) \left( 439 - \frac{76,62}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 1685,89 \text{ mm}^2$$

## 4. Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

Kebutuhan tulangan minimum ditetapkan berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 10.5.1.

$$\text{syarat : } A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} (350)(439) = 525,985 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{400} (350)(439) = 537,775 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = 537,775 \text{ mm}^2$$

Karena  $A_{sperlu} > A_{smin}$ , maka digunakan  $A_{sperlu}$  untuk perhitungan.

5. Menentukan tulangan utama terpasang

$$A_{tulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 22^2 = 380,133 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan terpasang

$$n_{tul} = \frac{A_{sperlu}}{A_{tulangan}} = \frac{1685,89}{380,133} = 4,435 \approx 5 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan utama 5 D22 dengan  $A_s = 1900,665 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak tulangan :

$$s = \frac{b_w - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times D_{senggang}) - (n D_{tul.utama})}{n - 1}$$

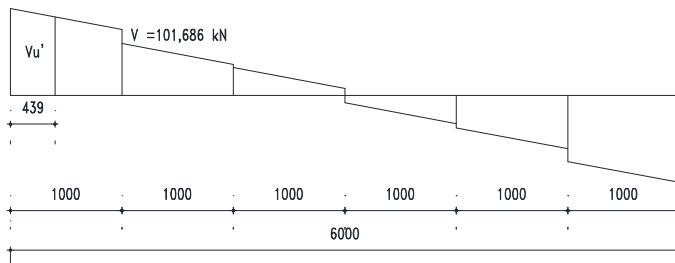
$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 22)}{5 - 1} = 35 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm} \dots (\text{OK})$$

6. Menentukan tulangan geser terpasang

Gaya geser yang dipakai dalam perhitungan adalah gaya geser terfaktor,  $V_u$  **sejarak d = 439 mm** dari muka tumpuan sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.1.3.1 Gambar 5.3.

$$V_u = 130,26 \text{ kN} = 130260 \text{ N} \quad (L = 6000 \text{ mm})$$

$$V_u = 130,26 \text{ kN}$$



catatan : satuan panjang dalam mm

**Gambar 5.19** Diagram Gaya Geser Balok Lift Perletakan Mesin

$$V_u' = 171,12 - \left( \left( \frac{1600 - 439}{1600} \right) (171,12 - 134,998) \right)$$

$$V_u' = 130,26 \left( \left( \frac{1000 - 439}{1000} \right) \right) (130,62 - 101,686) \\ = 114,028 \text{ kN} = 114028 \text{ N}$$

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1 Pers (11-3)}) \\ = (0,17)(1)\sqrt{30} (350)(439) = 143067,87 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 143067,87 = 107300,90 \text{ N}$$

Keterangan :

$\phi$  : Faktor reduksi geser = 0,75 (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)

$V_u' > \phi V_c$ .. (butuh tulangan geser) SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.1

$\phi(V_c + V_s) \geq V_u'$  SNI 2847:2013 Pasal 11.1.1 Pers (11-1)

$$0,75(143,067 + V_s) \geq 114,028$$

$$V_s \geq 8,970 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.2 Pers (11-15)}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y d} = \frac{8970}{(400)(439)} = 0,051 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan sengkang dua kaki D10,  $A_v = 2 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2) = 157,08 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{A_v}{0,051} = \frac{157,08}{0,051} = 3080 \text{ mm}$$

Jarak sengkang,  $s$ , tidak boleh lebih dari:

$$\frac{d}{2} = \frac{439}{2} = 219,50 \text{ mm} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1})$$

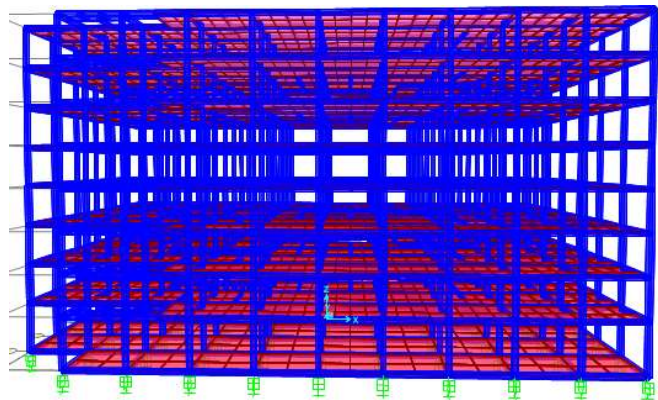
Digunakan sengkang 2D10-200 pada daerah tumpuan dan sengkang 2D10-200 pada daerah lapangan.

## BAB VI

### ANALISA STRUKTUR

#### 6.1 Pembebanan

Sebelum melakukan analisis struktur dengan program bantu analisis struktur berbasis elemen hingga seperti SAP2000, ETABS, dll, perlu dilakukan perhitungan beban yang hasilnya akan digunakan sebagai data input ke program tersebut. Beban-bekan yang diinput tersebut meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa.



**Gambar 6.1** Permodelan Struktur *Base Isolator* Gedung Modifikasi J-Tos Jogjakata Program SAP 2000 v15.

##### 6.1.1. Beban Mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri elemen struktur dan berat sendiri tambahan. Berat sendiri dari elemen struktur (*Self Weight*) dihitung secara otomatis oleh program bantu analisis struktur. Sementara untuk

berat sendiri tambahan (*Superimposed Dead Load*) terdiri atas beban merata pada pelat serta beban akibat dinding. Rinciannya adalah :

a. Lantai Atap dan atap ruang mesin elevator

- Ducting Mekanikal : **0,19 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 7-2002 Table C3-1, *Mechanical Duct Allowance*)
- Lapisan Waterproofing: **0,05 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 7-2002 Table C3-1, *Waterproofing Membranes Liquid Applied*)
- Beban Penggantung Langit-langit: **0,10 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 7-2002 Table C3-1 , *Suspended Steel Channel System*)
- Beban Plafond : **0,05 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 7-2002 Table C3-1, *Acoustical fiberboard*)

**Total : 0,39 kN/m<sup>2</sup>**

b. Lantai 1 - Lantai 7

- Ducting Mekanikal : **0,19 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 7-2002 Table C3-1, *Mechanical Duct Allowance*)
- Beban Plafond : **0,05 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 7-2002 Table C3-1, *Acoustical fiberboard*)
- Beban Penggantung Langit-langit: **0,10 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 7-2002 Table C3-1 , *Suspended Steel Channel System*)
- Beban Keramik + Spesi : **1,10 kN/m<sup>2</sup>** (ASCE 7-2002 Table C3-1 *Ceramic, or quarry tile (19 mm) on 25 mm mortar bed*)

**Total : 1,44 kN/m<sup>2</sup>**

### 6.1.2. Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan tidak dikalikan dengan faktor reduksi. Rincian beban hidup yang digunakan adalah :

a. Lantai Atap dan atap ruang mesin elevator

- Beban hidup atap datar : **0,96 kN/m<sup>2</sup>** (SNI 1727:2013 tabel 4-1)



- Reaksi Beban Balok Akibat Elevator  
**R = 171,12 kN**

b. Lantai 1

- Beban hidup lantai kantor : **4,76 kN/m<sup>2</sup>** (SNI 1727:2013 tabel 4-1)
- Beban Partisi : **0,72 kN/m<sup>2</sup>** (SNI 1727:2013 pasal 4.32)

**Total : 5,48 kN/m<sup>2</sup>**

c. Lantai 2 – Lantai 7

- Beban hidup lantai kantor : **3,59 kN/m<sup>2</sup>** (SNI 1727:2013 tabel 4-1)
- Beban Partisi : **0,72 kN/m<sup>2</sup>** (SNI 1727:2013 pasal 4.32)

**Total : 4,31kN/m<sup>2</sup>**

### 6.1.3. Beban Gempa

a. *Menghitung Berat Struktur Per Lantai*

Perhitungan berat struktur per lantai meliputi berat sendiri elemen struktur dan berat akibat beban hidup total yang membebani struktur. Beban hidup yang dihitung sebagai berat struktur tidak dikenakan faktor reduksi. Berat struktur per lantai ini bisa didapat langsung dari program bantu analisis struktur yaitu salah satunya SAP2000. Rangkuman hasil perhitungan berat struktur per lantai disajikan dalam Tabel 6.1

**Tabel 6.1** Rangkuman Hasil Perhitungan Berat Struktur Per Lantai

<b>Lantai</b>	<b>Berat Lantai (kN)</b>
Lantai 8	15885.06
Lantai 7	15614.51
Lantai 6	15614.51
Lantai 5	15614.51
Lantai 4	15424.82
Lantai 3	15424.82
Lantai 2	15424.82
Lantai 1	19385.23
<b>Berat Bangunan</b>	<b>128388.32</b>

*b. Menentukan Kategori Resiko Bangunan Gedung*

Berdasarkan Tabel 3.3 atau SNI 1726:2012 Tabel 1, bangunan yang dirancang masuk kedalam **kategori resiko II**.

*c. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa*

Berdasarkan Kategori gempa yang didapat maka dari Tabel 3.4 atau SNI 1726:2012 Tabel 2 dapat ditentukan Faktor Keutamaan Gempanya yaitu  $I_e = 1$

*d. Menentukan Parameter Percepatan Gempa*

Nilai parameter percepatan gempa didapat dari peta zonasi gempa pada **Gambar 3.2** dan **Gambar 3.3** Untuk kota Padang didapat nilai  $S_s = 1,2g$  dan  $S_1 = 0,4g$ .

*e. Menentukan Klasifikasi Situs*

Menurut SNI 1726:2012 pasal 5.3 untuk menentukan klasifikasi situs dapat ditentukan salah satunya dengan menentukan nilai  $N$  berdasarkan data hasil SPT.

Adapun definisi parameter kelas situs yang menggunakan data SPT dapat dilihat pada SNI 1726:2012 pasal 5.4.2 persamaan (2)

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Keterangan:

$d_i$  = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter;

$$\sum_{i=1}^n d_i = 30 \text{ meter}$$

$N_i$  = tahanan penetrasi standar yang terukur langsung dilapangan.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai  $\bar{N}$  pada Tabel 6.2 diketahui situs merupakan Tanah Sedang (SD).  $\bar{N} = 15$  s/d 50

**Tabel 6.2** Perhitungan Nilai  $\bar{N}$

Kedalaman (m)	NSPT
2	25
4	28
6	60
8	60
10	60
12	50
14	60
16	38
18	48
20	50
22	55
24	56
26	60
28	60
30	60

Dari data diatas didapatkan nilai rata-rata adalah :

$$N = \frac{25 + 28 + 60 + 60 + 60 + 60 + 50 + 34 + 48 + 50 + 55 + 56 + 60 + 60 + 60}{15}$$

$$N = 51.3$$

Maka, tanah termasuk kelas situs SC (tanah keras).

*f. Menentukan Koefisien Situs*

Berdasarkan Tabel 3.6 dan 3.7 dapat diketahui nilai  $F_a=1$  dan  $F_v=1,3$

*g. Menghitung Parameter Percepatan Desain Spektral*

Sebelum menentukan parameter percepatan desain spektral perlu dihitung nilai parameter respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan pada periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) dengan persamaan (3-6) dan (3-7) atau bisa dilihat pada SNI 1726:2012 Pasal 6.2 persamaan (5) dan (6). Selanjutnya nilai  $SDS$  dan  $SDI$  dapat dicari dengan persamaan (3-4) dan (3-5) atau bisa dilihat pada SNI 1726:2012 Pasal 6.3 persamaan (7) dan (8).

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1 \times 1,2 \text{ g} = 1,2 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,3 \times 0,4 \text{ g} = 0,52 \text{ g}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,2 \text{ g} = 0,8 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,52 \text{ g} = 0,35 \text{ g}$$

*h. Menentukan Kategori Desain Seismik*

Berdasarkan Tabel 3.8 dan Tabel 3.9, dilihat dari kategori resiko yang didapat pada tinjauan sebelumnya maka diketahui bangunan termasuk kategori desain seismic D untuk kedua parameter  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ .

*i. Menentukan parameter struktur  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$*

Berdasarkan tabel 3.10 atau SNI 1726:2012 pasal 7.2.2 tabel.9 didapat nilai parameter struktur bangunan untuk rangka beton bertulang pemikul momen khusus adalah :

$$R = 8$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 3$$

### 6.1.3.1 Analisa Model Respon Spektrum

Untuk grafik respons spektrum rencana, penggambarannya mengikuti ketentuan SNI 1726:2012 Pasal 6.4 berikut :

- *Batasan Periode*

$$T_0 = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{0.4}{0.8} = 0.1 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0.4}{0.8} = 0.5 \text{ detik}$$

- *Respon Spektrum Percepatan Desain saat  $T < T_0$*

$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

$$\text{Misalkan saat } T=0 \text{ detik} \rightarrow S_a = 0.8 \left( 0.4 + 0.6 \frac{0}{0.1} \right) = 0.32g$$

- *Respon Spektrum Percepatan Desain saat  $T_0 \leq T \leq T_s$*   
 $S_a = S_{DS} = 0.8g$
- *Respon Spektrum Percepatan Desain saat  $T \geq T_s$*

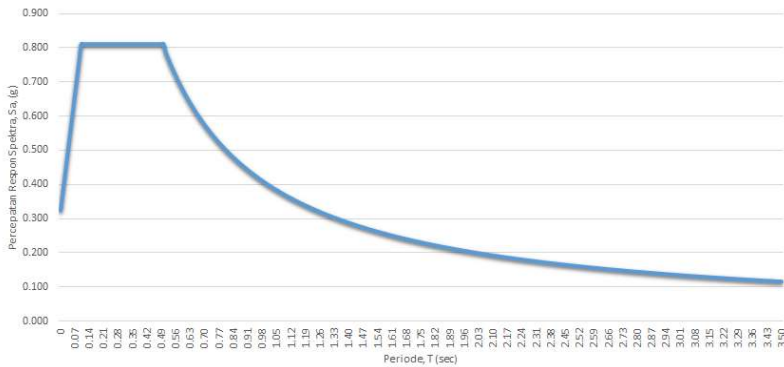
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Karena  $T_s = 0.5$  detik maka untuk  $T \geq T_s$ . Misalkan  $T$  yang diambil 0,7 detik. Maka :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0.4}{0.7} = 0.57 \text{ detik}$$

**Tabel 6.3** Nilai Periode Fundamental (T) dan Percepatan Respon Spektra (Sa) berdasarkan ketentuan SNI 1726:2012 Pasal 6.4

T	Sa	T	Sa
0	0.323	1.9	0.211
0.1	0.811	2	0.201
0.2	0.811	2.1	0.191
0.3	0.811	2.2	0.182
0.4	0.811	2.3	0.175
0.5	0.811	2.4	0.167
0.6	0.669	2.5	0.161
0.7	0.537	2.6	0.154
0.8	0.502	2.7	0.149
0.9	0.446	2.9	0.143
1	0.401	3	0.134
1.1	0.365	3.1	0.129
1.2	0.334	3.2	0.125
1.3	0.309	3.3	0.122
1.4	0.287	3.4	0.118
1.5	0.268	3.5	0.115
1.6	0.251		
1.7	0.236		
1.8	0.223		



**Gambar 6.2** Hasil Grafik Spektrum Respon Desain

Nilai spectrum respons tersebut harus dikalikan dengan suatu factor skala (*scale factor*) yang besarnya =  $g \times I_e/R$

Keterangan :  $g$  = percepatan gravitasi ( $g = 9,81 \text{ m/det}^2$ )

*Scale factor* =  $9,81 \times 1 / 8 = 1,23$ , karena gempa dua arah yaitu arah x,y maka beban gempa didistribusikan 100% ke arah x dan 30% ke arah y jika ditinjau dari sumbu x dan sebaliknya. Sehingga scale factor arah x = 1,23 dan scale factor arah y =  $0,3 \times 1,23 = 0,37$ .

Nilai redaman untuk struktur beton diambil, *Damping* = 0,05.

Dari hasil analisa struktur menggunakan program analisa struktur didapat nilai T (Periode Getar Fundamental Struktur) = 2.91 detik

- *Menghitung Periode Fundamental Perkiraan*

Periode fundamental perkiraan dihitung dengan menentukan nilai  $C_t$  dan  $\alpha$  terlebih dahulu yang terdapat pada Tabel 3.12 atau SNI 1726:2012 tabel 15 . Selanjutnya nilai  $T_a$  dapat dicari dengan Persamaan (3-8) atau SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.1 persamaan (26). Untuk SRPMK beton didapat nilai  $C_t = 0,0466$  dan  $\alpha = 0,9$

$$T_a = C_t \alpha h_n^x = 0.0466 \times 33^{0.9} = 1.084 \text{ detik}$$

- *Menghitung Batas Atas Periode Struktur*

Periode struktur bangunan dibatasi dengan mengalikan nilai periode fundamental perkiraan dengan koefisien  $C_u$ . Berdasarkan nilai  $S_{D1}$  yang didapat dari perhitungan sebelumnya yaitu  $0,6g \geq 0,4g$  maka didapat nilai  $C_u = 1,4$  yang terdapat pada Tabel 3.13 atau SNI 1726:2012 tabel 14.

$$C_u \times T_a = 1,4 \times 1,084 = 1,517 \text{ detik}$$

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1, Periode fundamental struktur ( $T$ ) yang digunakan:

- Jika  $T_c > C_u \times T_a$  maka digunakan  $T = C_u \times T_a$
- Jika  $T_a < T_c < C_u \times T_a$  maka digunakan  $T = T_c$
- Jika  $T_c < T_a$  maka digunakan  $T = T_a$

Keterangan :

$T_c$  : Periode fundamental struktur yang diperoleh dari program analisa struktur

Dari hasil analisa program bantu analisa struktur maka didapat  $T_c = 2,91$  detik,  $T_a = 1,084$  dan  $C_u \times T_a = 1,517$  detik, karena  $T_a < T_c < C_u \times T_a$  maka periode fundamental struktur yang digunakan adalah  **$T = 1,517$  detik**

### 6.1.3.2 Analisa Model Statik Ekuivalen

#### a. Menentukan Koefisien Respons Seismik

Koefisien seismik,  $C_s$ , dihitung dengan Persamaan (3-10). Nilai dari persamaan (3-10) ini tidak perlu melebihi nilai dari Persamaan (3-11) dan tidak boleh kurang dari nilai Persamaan (3-12) atau dapat dilihat pada SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1.

$$C_{s \text{ perlu}} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.8}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0.1 \quad (3-10)$$

$$C_{s1} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.8}{1.517 \left(\frac{8}{1}\right)} = 0.0659 \quad (3-11)$$



$$C_{s2} = 0.044 S_{DS} \cdot I_e \geq 0.01 \quad (\text{OK})$$

$$C_{s2} = 0.044 \times 0.8 \times 1 = 0.0352 \geq 0.01 \quad (3-12)$$

Kontrol :1.  $C_{s\text{perlu}} \leq C_{s1} = 0,1 \geq 0,0659 \rightarrow \text{digunakan } C_s = 0,0659$

2.  $C_{s\text{perlu}} \geq C_{s2} = 0,1 \geq 0,0352 \rightarrow \text{digunakan } C_s = 0,1$

Karena struktur yang berlokasi didaerah dimana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g maka  $C_{s\text{perlu}}$  tidak kurang dari :

$$C_{s3} = \frac{0.5 \cdot S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0.5 \times 0.4}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,025$$

3.  $C_{s\text{perlu}} \geq C_{s3} = 0,1 \geq 0,025 \rightarrow \text{digunakan } C_s = 0,1$

Dari ketiga hasil perhitungan diatas, apabila digunakan  $C_s=0,1$  maka kontrol 1 tidak OK. Sehingga digunakan  **$C_s = 0,0659$**

*b. Menentukan Gaya Geser Dasar Seismik*

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.1, gaya gempa lateral didapat dengan mengalikan dengan berat bangunan dengan koefisien respon seismik.

$$V = 0.0659 \cdot W = 0,0695 \times 128338,32$$

$$V = \mathbf{8922.98 \text{ kN}}$$

*c. Menghitung Distribusi Vertikal Beban Gempa*

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.3, distribusi vertikal beban gempa ditentukan dengan menghitung gaya gempa pada tiap lantai,  $F_i$ , dengan Persamaan (3-15). Selanjutnya nilai  $F_i$  dikalikan dengan faktor distribusi vertikal  $C_{vx}$  sesuai Persamaan (3-16) untuk mendapatkan nilai  $V_i$ . Rangkuman hasil perhitungannya diperlihatkan pada Tabel 6.3.

$$F_x = C_{vx} V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Keterangan :

$C_{vx}$  = faktor distribusi vertikal

$w_i$  dan  $w_x$  = bagian dari berat total seismik efektif struktur (W) yang ditempatkan pada tingkat i atau x

$h_i$  dan  $h_x$  = tinggi dari dasar ke tingkat i atau x

$k$  = eksponen yang terkait dengan periode struktur yang nilainya sebagai berikut :

- untuk struktur dengan periode  $\leq 0,5$  s,  $k=1$
- untuk struktur dengan periode  $\geq 2,5$  s,  $k=2$
- untuk struktur dengan periode antara 0,5 s sampai 2,5 s,  $k=2$  atau ditetapkan dengan interpolasi antara 1 dan 2

Karena T yang didapat dari hasil perhitungan SAP2000 yaitu 2,170 detik  $\geq 2,5$  s, maka  $k=2$ .

**Tabel 6.4** Perhitungan Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Lantai Ke	$h_i$ (m)	$h_i^k$ (m)	$W_i$ (kN)	$W_i \times h_i^k$ (kN)	$C_{vx}$	$F_i$ (kN)	$V_i$ (kN)
Lantai 8	34	1156.000	15885.06	18363127.59	0.305	2718.035	2718.035
Lantai 7	30	900.000	15614.51	14053057.62	0.233	2080.076	4798.112
Lantai 6	26	676.000	15614.51	10555407.73	0.175	1562.369	6360.480
Lantai 5	22	484.000	15614.51	7557422.10	0.125	1118.619	7479.099
Lantai 4	18	324.000	15424.84	4997647.66	0.083	739.731	8218.831
Lantai 3	14	196.000	15424.84	3023268.34	0.050	447.492	8666.323
Lantai 2	9	81.000	15424.84	1249411.92	0.021	184.933	8851.256
Lantai 1	5	25.000	19385.23	484630.64	0.008	71.733	8922.989
			<b>Total</b>	<b>60283973.60</b>			

## 6.2 Perhitungan Sistem Struktur Base Isolator.

### 6.2.1 Persyaratan Perencanaan Umum

Pada SNI 1726:2012 Pasal 12.2, 12.4.1 dan Pasal 12.4.2 menyatakan persyaratan dan prosedur analisis sistem *isolation structure*. seperti :

#### a. Faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) (Pasal 12.2.1)

Struktur dengan isolasi seismic  $I_e$  harus diambil sebesar 1,0 tanpa membedakan kategori resiko yang diterapkan.

#### b. Ketentuan Dalam Prosedur Analisis (Pasal 12.4)

- Struktur terletak di situs dengan  $S_1$  kurang atau sama dengan 0,6g.
- Struktur terletak pada kelas situs  $SA$ ,  $SB$ ,  $SC$ , atau  $SD$
- Periode efektif struktur dengan isolasi pada perpindahan maksimum,  $T_M$ , kurang atau sama dengan 3,0 detik.
- Periode efektif struktur dengan isolasi pada perpindahan rencana lebih besar dari 3 kali periode elastik struktur terjepit dari struktur diatas sistem isolasi.

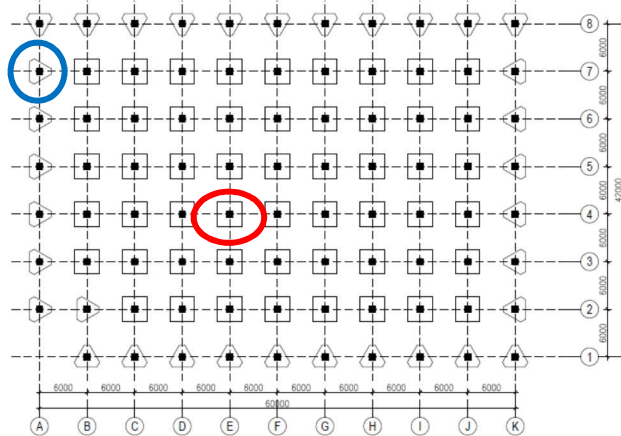
Maka :

$T_c = 1,517$  detik (Perioda Terjadi)

$T_D = 3 \times 1,517 = 4.551$  detik (Periode Untuk Desain Dimensi HDRB)

### 6.2.2 Perhitungan Dimensi High Damping Rubber Bearing (HDRB)

#### - Layout Pemasangan Base Isolator



**Gambar 6.3** Sampel titik reaksi terbesar pada kolom interior dan eksterior  
(Pada Lingkaran Merah dan Biru)

Hasil Analisa *Fixed Based Structure* Menggunakan SAP 2000 v15 diperoleh reaksi terbesar terjadi pada :

Kolom Interior = **18486,52 kN**

Kolom Eksterior = **11662,51 kN**

#### a. Perhitungan Desain HDRB Kolom Interior.

##### - Kekakuan Base Isolator Rencana

Berdasarkan analisa *fixed-based*, diperoleh periode alami struktur ialah  $T_1 = 2.91$  detik dan periode rencana  $T_D$  untuk desain HDRB adalah  $T_D = 3 \times T_1 = 8.73$  detik.

Asumsi spesifikasi awal material rubber

- Modulus shear (G) =  $0,620 \text{ N/mm}^2 = 0,620 \text{ MN/m}^2$
- Ketebalan rubber (tr) = 200 mm
- Reaksi (m) = 18486,52 KN = 18,48652 MN
- Nilai kekakuan horizontal base isolation :

$$K_H^1 = \frac{m \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2}{Pj. \text{betang}} = \frac{18,48652 \times \left(\frac{2\pi}{8,73}\right)^2}{6} = 1.59 \text{ MN/m}$$

- Nilai Luasan Rubber

$$K_H^1 = \frac{G_t \times A}{tr} \rightarrow A = \frac{K_H \times tr}{G_t} = \frac{1.59 \times 0.2}{0.62} = 0.514 \text{ m}^2$$

Sehingga diperoleh nilai diameter rubber :

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \rightarrow D = \sqrt{\frac{(4A)}{\pi}} = 0.809 \text{ m}$$

Maka digunakan base isolation dengan outer diameter = 800 mm

#### **b. Perhitungan Desain HDRB Kolom Eksterior.**

Asumsi spesifikasi awal material rubber

- Modulus shear (G) =  $0,620 \text{ N/mm}^2 = 0,620 \text{ MN/m}^2$
- Ketebalan rubber (tr) = 200 mm
- Reaksi (m) = 11662,51 KN = 11,66251 MN
- Nilai kekakuan horizontal base isolation :

$$K_H^1 = \frac{m \times \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2}{Pj. \text{betang}} = \frac{11,66251 \times \left(\frac{2\pi}{8,73}\right)^2}{6} = 1.01 \text{ MN/m}$$

- Nilai Luasan Rubber

$$K_H^1 = \frac{G_t \times A}{tr} \rightarrow A = \frac{K_H \times tr}{G_t} = \frac{1.59 \times 0.2}{0.62} = 0.514 \text{ m}^2$$

Sehingga diperoleh nilai diameter rubber :

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \rightarrow D = \sqrt{\frac{(4A)}{\pi}} = 0.642 \text{ m}$$

Maka digunakan base isolation dengan outer diameter = 650 mm

### Kekakuan aktual

HDRB 650,  $A=0,3317 \text{ m}^2$ ,  $G_A = 620.000 \text{ N/m}^2$

HDRB 800,  $A=0,5023 \text{ m}^2$ ,  $G_B = 620.000 \text{ N/m}^2$

BD & BM = 1.58

$$K_H^A = \frac{G_A \times A}{t_r} = \frac{620.000 \times 0.3317}{0.2} = 1028270 \text{ N/M} = 1.02 \text{ MN/m}$$

$$K_H^B = \frac{G_B \times A}{t_r} = \frac{620.000 \times 0.5023}{0.2} = 1557130 \text{ N/M} = 1.56 \text{ MN/m}$$

### Kekakuan Struktur

$$K_H = 32 \times 1.02 + 55 \times 1.56 \text{ m} = 118.44 \text{ MN/m}$$

Dimana :

$$\omega^2 = \frac{K_H}{W}$$

$$\omega^2 = \frac{118440000 \text{ N/M}}{102885310 \text{ N/M}}$$

$$= 1.151$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 5.46 \text{ detik}$$

### 6.2.3 Analisa Isolation Structure

Pada tahap ini dilakukan kembali analisa struktur sesuai dengan ketentuan sistem base isolator menurut SNI 1726-2012.

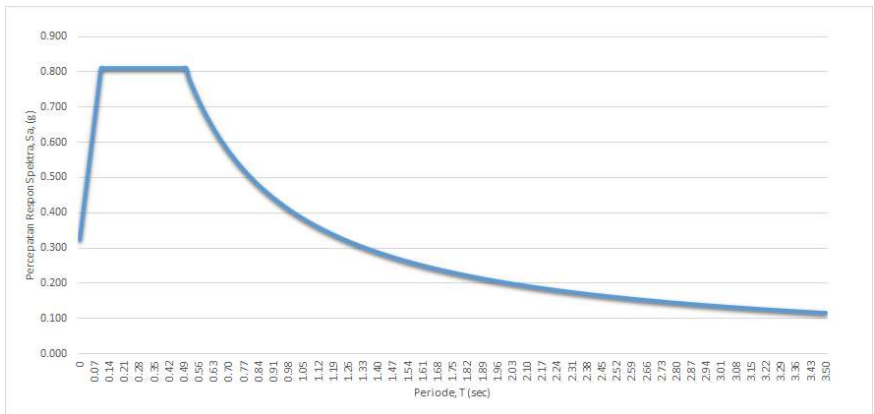
- Reduksi gempa ( $R$ ) = 2 untuk *isolation structure*.
- Effective Damping Ratio = 0,24 = 24 %
- Koreksi grafik Respons Spektrum Berdasarkan AASHTO

**Tabel 6.5.** Koefisien redaman struktur Isolasi berdasarkan AASHTO

	Damping (Percentage of Critical)*						
	≤2	5	10	20	30	40	50
<i>B</i>	0.8	1.0	1.2	1.5	1.7	1.9	2.0

Untuk redaman effective 24 % maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai B, sehingga didapatkan nilai B = 1.58

Pada perencanaan ini struktur bangunan pada awalnya berada di daerah gempa kecil yaitu Jambi, kemudian struktur bangunan dipindahkan ke daerah kuat yaitu Jogjakarta dengan menambahkan *Base Isolator* pada struktur bangunan tersebut.



**Gambar 6.4** grafik Respons Spektrum Jogjakarta

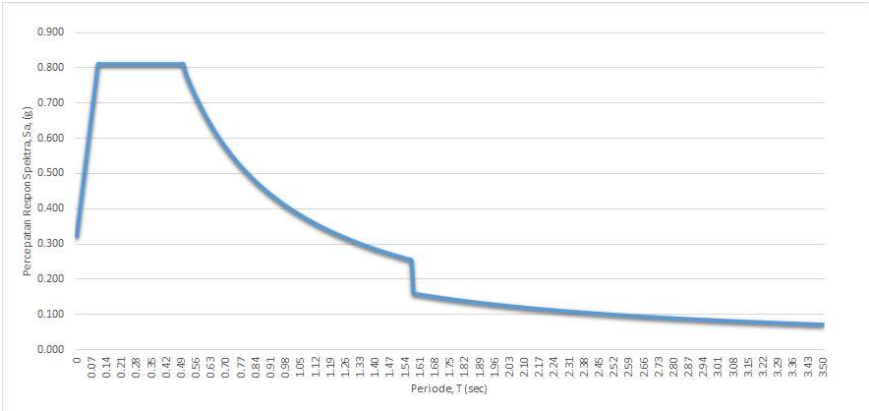
Prosedur desain dilakukan Penskalaan dengan koefisien redaman B didapatkan untuk base isolator 1.58 Teff.

Berikut cara perhitungan nilai sa dengan Teff = 1.58 detik.

$$S_a = \frac{\left(\frac{S_{D1}}{T}\right)}{T_{eff}}$$

Contoh perhitungan

$$S_a = \frac{\left(\frac{0.185}{1.58}\right)}{1.58} = 0.074$$



Gambar 6.5 grafik Respons Base Isolator dengan redaman 24%

Tabel 6.6. Koefisien redaman  $B_D$  atau  $B_M$

Redaman Efektif, $\beta_D$ atau $\beta_M$ (persentase dari redaman kritis) <sup>a,b</sup>	Faktor $B_D$ atau $B_M$
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9
≥ 50	2,0

Untuk redaman effective 24 % maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan  $B_D$  atau  $B_M$  , maka :

$$B_D \text{ \& } B_M = 1.5 - \left( \frac{(20 - 24)}{(20 - 30)} (1,5 - 1,7) \right) = 1,58$$

Maka digunakan B<sub>D</sub> dan B<sub>M</sub> sebesar 1,58

- Menghitung Kekakuan Efektif.



HDRB 650,  $A=0,3317 \text{ m}^2$ ,  $G_A = 620.000 \text{ N/m}^2$

HDRB 800,  $A= 0,5023 \text{ m}^2$ ,  $G_B= 620.000 \text{ N/m}^2$

BD & BM = 1.58

$$K_H^A = \frac{G_A \times A}{t_r} = \frac{620.000 \times 0.3317}{0.2} = 1028270 \text{ N/M} = 1.02 \text{ MN/m}$$

$$K_H^B = \frac{G_A \times A}{t_r} = \frac{620.000 \times 0.5023}{0.2} = 1557130 \text{ N/M} = 1.56 \text{ MN/m}$$

Kekakuan Struktur

$$K_H = 32 \times 1.02 + 55 \times 1.56 \text{ m} = 118.44 \text{ MN/m}$$

- Periode Efektif

$$\omega^2 = \frac{K_H}{W}$$

$$\omega^2 = \frac{118440000 \text{ N/M}}{102885310 \text{ N/M}}$$

$$= 1.151$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 5.46 \text{ detik}$$

Didapatkan pada Tperhitungan  $\geq T$  dari SAP

5,46 detik  $\geq$  3,85 detik (oke)

- Menghitung Perpindahan Lateral Minimum

Sistem isolasi harus direncanakan untuk menahan perpindahan gempa lateral minimum,  $D_D$  yang berkerja pada setiap arah sumbu horizontal utama struktur.

- *Perpindahan Rencana (SNI 1726:2012 pasal 12.5.3.1)*

$$D_D = \frac{g \cdot S_{D1} \cdot T_D}{4\pi^2 B_D}$$

Keterangan :

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{mm/det}^2$ ) = 9810  $\text{mm/det}^2$

$S_{D1}$  = parameter percepatan spectral rencana = 0.6

$T_{D1}$  = 4,581 detik

$B_D$  = 1,58

$$D_D = \frac{9810 \times 0.6 \times 4.802}{4\pi^2 \times 1.58} = 453,59 \text{ mm}$$

- *Perpindahan Maksimum (SNI 1726:2012 pasal 12.5.3.3)*

$$D_M = \frac{g \cdot S_{M1} \cdot T_M}{4\pi^2 B_M}$$

Keterangan :

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{mm/det}^2$ ) =  $9810 \text{ mm/det}^2$

$S_{M1}$  = parameter percepatan spectral rencana = 0.6

$T_{M1}$  = 5,394 detik

$B_M$  = 1,58

$$D_M = \frac{9810 \times 0.6 \times 5.394}{4\pi^2 \times 1.58} = 509,53 \text{ mm}$$

- *Menghitung Gaya Lateral Minimum (SNI 1726:2012 pasal 12.5.4)*

Sistem isolasi, fondasi dan semua elemen-elemen structural dibawah sistem isolasi harus direncanakan dan dibangun untuk menahan gaya gempa lateral minimum,  $V_b$ , dengan menggunakan semua persyaratan yang sesuai dengan persamaan berikut :

- Gaya Lateral Minimum Struktur dibawah Sistem Isolasi (SNI 1726:2012 pasal 12.5.4.1)

$$V_b = k_{D\max} D_D$$

- Gaya Lateral Minimum Struktur diatas Sistem Isolasi (SNI 1726:2012 pasal 12.5.4.2)

$$V_s = \frac{k_{D\max} \cdot D_D}{R_1}$$

Keterangan :

$k_{D\max}$  = 118.44 MN/m

$D_D$  = 0,339 m

$R_1$  = 2 (Koefisien numerik *Isolation Struktur*)

Jadi :

$$V_b = 118,44 \text{ MN/m} \times 0,339 \text{ m}$$

$$= 40,151 \text{ MN}$$

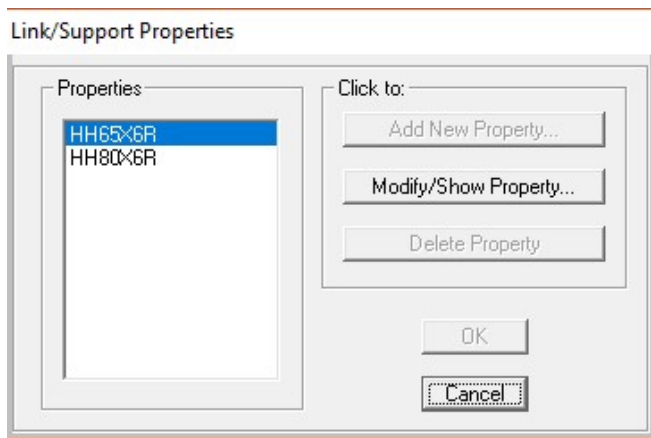
$$= 40151 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{118.44 \times 0.339}{2} = 20,0756 \text{ MN} = 20075,58 \text{ kN}$$

#### 6.2.4 Permodelan Isolation Struktur

Adapun langkah-langkah input *base isolator* pada program SAP 2000 v.15 di struktur yang direncanakan adalah sebagai berikut:

1. Modelkan perletakan base isolator :  
Define – Section properties – Link/Support properties



**Gambar 6.6.** Permodelan *seismic isolation*

- Input data spesifikasi dari dimensi HDRB yang telah diperoleh HH80X6R dan HH65X6R

Link/Support Property Data

Link/Support Type: Rubber Isolator

Property Name: HH65X6R Set Default Name

Property Notes Modify/Show...

Total Mass and Weight

Mass	0.7	Rotational Inertia 1	0.
Weight	7	Rotational Inertia 2	0.
		Rotational Inertia 3	0.

Factors For Line, Area and Solid Springs

Property is Defined for This Length In a Line Spring: 36.1

Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 3.28

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<span>Modify/Show for U1...</span>
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<span>Modify/Show for U2...</span>
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<span>Modify/Show for U3...</span>
<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<span>Modify/Show for R1...</span>
<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<span>Modify/Show for R2...</span>
<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<span>Modify/Show for R3...</span>

Fix All Clear All

P-Delta Parameters Advanced...

OK Cancel

**Gambar 6.7.** Input Spesifikasi HDRB

3. Kemudian dilakukan input data Directional properties yang meliputi UI dalam arah vertikal dan U2-U3 dalam arah horizontal permukaan *seismic isolation*.

Link/Support Directional Properties

Identification	
Property Name	HH85-6R
Direction	U1
Type	Rubber Isolator
NonLinear	No
Properties Used For All Analysis Cases	
Effective Stiffness	2340000
Effective Damping	0

OK Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification	
Property Name	HH85-6R
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes
Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	1040
Effective Damping	0
Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.3904
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	1040
Yield Strength	83.9
Post Yield Stiffness Ratio	0.1

OK Cancel

Link/Support Directional Properties

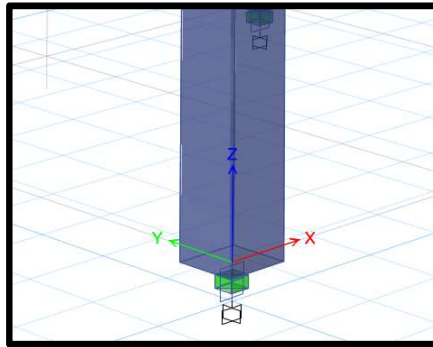
Identification	
Property Name	HH85-6R
Direction	U3
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes
Properties Used For Linear Analysis Cases	
Effective Stiffness	1040
Effective Damping	0
Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.3904
Properties Used For Nonlinear Analysis Cases	
Stiffness	1040
Yield Strength	83.9
Post Yield Stiffness Ratio	0.1

OK Cancel

**Gambar 6.8.** Input directional properties HDRB

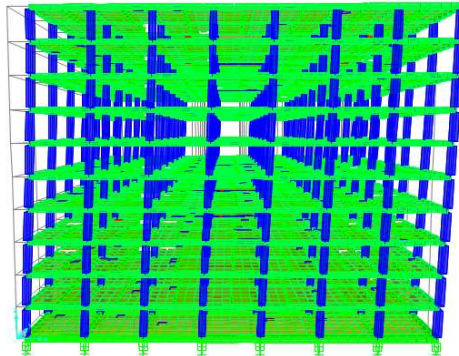
4. Draw HH90X6R dan HH75X6R Sebagai Peletakan :  
Klik menu draw - Draw 1 Joint Link - Pilih Link Properties (HH90X6R & HH75X6R) – klik joint yang ingin diberikan base isolation.

Maka peletakan base isolator pada SAP 2000 v. 15, seperti pada gambar 6.10.



**Gambar 6.9.** *Assign Base Isolator Pada SAP 2000 v.15*

5. Running Annalize



**Gambar 6.10.** *Deformed Shape dengan penggunaan base isolate*

## 6.2.5 Kontrol Analisa Isolation Struktur

### 6.2.5.1 Batas Simpangan Antar Lantai

Pada SNI 1726:2012 pasal 12.5.6, Simpangan antar lantai maksimum struktur diatas sistem isolasi tidak boleh melebihi  $0,015 h_{sx}$ . Simpangan antar lantai harus dihitung berdasarkan Persamaan 7.8.14 dengan faktor  $C_d$  dari sistem isolasi sama dengan faktor  $R_1$  yang ditentukan pada pasal 12.5.4.2

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \text{ (SNI 1726-2012 Persamaan 7.8-14)}$$

Dimana :

$C_d$  = Faktor pembesaran defleksi (2,0).

$\delta_{xe}$  = Defleksi pada lantai  $x$  yang ditentukan dengan analisis elastis.

$I_e$  = Faktor keutamaan (1,0).

$\Delta_a$  =  $0,015 h_{sx}$

Catatan:

Penentuan nilai  $C_d = R_1$ , berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 12.5.4.2 untuk sistem isolasi  $R_1$  harus bernilai  $3/8$  dari nilai  $R$  yang didapat pada tabel 9 SNI 1726:2012 dengan range nilai  $R_1$  adalah  $1 \leq R_1 \leq 2$ .

$$C_d = R_1 = \frac{3}{8} R = \frac{3}{8} \times 8 = 3$$

Karena  $R_1 > 2$  maka  $R_1$  atau  $C_d$  yang digunakan adalah 2,0

#### a. Gempa Dinamik

- Analisa Simpangan Antar Lantai Gempa Arah x

**Tabel 6.7.** Kontrol simpangan antar lantai portal gempa dinamis arah x.

Lantai	Tinggi Tingkat (hi) (mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	( $\Delta$ ) (mm)	$\Delta_x$ (mm)	$\Delta_x/p$ (mm)	$\Delta < \Delta_a < (\Delta_a/p)$ (mm)
Lantai 8	4000	205	410	11	60	60	Ok
Lantai 7	4000	200	399	3	60	60	Ok
Lantai 6	4000	198	396	3	60	60	Ok
Lantai 5	4000	197	394	3	60	60	Ok
Lantai 4	4000	196	391	2	60	60	Ok
Lantai 3	4000	195	390	3	60	60	Ok
Lantai 2	4000	193	387	3	60	60	Ok
Lantai 1	5000	192	384	2	75	75	Ok
B	-	191	382	0	0	0	Ok

Kontrol perpindahan (displacement) akibat base isolator

H total	$\delta_x$	$D_D$	$\delta_x \leq D_D$
(m)	mm	mm	
33	410	453,59	OK

- Analisa Simpangan Antar Lantai Gempa Arah Y

**Tabel 6.8.** Kontrol simpangan antar lantai portal gempa dinamis arah y.

Lantai	Tinggi Tingkat (hi) (mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$(\Delta)$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	$\Delta_a/p$ (mm)	$\Delta < \Delta_a < (\Delta a/p)$ (mm)
Lantai 8	4000	202	405	1	60	60	Ok
Lantai 7	4000	202	403	2	60	60	Ok
Lantai 6	4000	201	401	2	60	60	Ok
Lantai 5	4000	199	399	2	60	60	Ok
Lantai 4	4000	198	396	2	60	60	Ok
Lantai 3	4000	197	394	2	60	60	Ok
Lantai 2	4000	196	392	2	60	60	Ok
Lantai 1	5000	195	390	2	75	75	Ok
B	-	194	389	0	0	0	Ok

Kontrol perpindahan (displacement) akibat base isolator

H total	$\delta_x$	$D_D$	$\delta_x \leq D_D$
(m)	mm	mm	
33	405	453,59	OK

### 6.2.5.2 Kontrol Nilai Akhir Respons Spektrum

Nilai  $V_{\text{dinamik}}$  ( $V_t$ ) dan  $V_{\text{statik}}$  ( $V$ ) didapatkan dari base reaction hasil analisis struktur. SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4 mensyaratkan nilai akhir  $V_{\text{dinamik}}$  minimal 85% dari  $V_{\text{statik}}$  ( $V_{\text{dinamik}} \geq 0,85 V_{\text{statik}}$ ). Bila syarat ini tak terpenuhi maka gaya geser dasar ragam perlu dikalikan faktor skala gaya sebesar 0,85  $V/V_t$  (SNI-1726-2012 pasal 7.9.4.1).

Nilai gaya geser dasar statik dan gaya geser dasar dinamik ditampilkan pada Tabel 6.8. Berdasarkan Tabel 6.8 ini diketahui bahwa



rasio  $V_{\text{dinamik}} / V_{\text{statik}}$  selalu lebih besar dari 0,85 sehingga gaya geser dasar ragam tidak perlu dikalikan faktor skala gaya.

**Tabel 6.9** Gaya Geser Dasar Dinamik dan Statik

V (m/det)	Arah x	Arah y	0,85 V	$V_t > 0,85 V$	Rasio
V dinamik ( $V_t$ )	8189.877	-	6077.95	OK	1.080
V statik (V)	8922.98	-			
V dinamik ( $V_t$ )	-	8206.872	6077.95	OK	1.082
V statik (V)	-	8922.98			

### 6.2.5.3 Kontrol Partisi Massa

Untuk mendapatkan hasil analisis struktur yang baik, analisis yang dilakukan harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi minimal 90 dari massa aktual dari masing-masing arah horizontal orthogonal dari respon yang ditinjau model (SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.1). Dari hasil analisis struktur pada Tabel 6.31 diketahui partisipasi massa mencapai minimal 90% pada mode shape ke 2.

**Tabel 6.10** Rasio Partisipasi Massa

Mode	Period	SumUX	SumUY
1	3.849	0.895	0.001
2	3.830	0.896	0.900
3	3.614	0.900	0.902
4	1.265	0.974	0.902
5	1.255	0.974	0.975
6	1.183	0.975	0.975
7	0.711	0.994	0.975
8	0.704	0.994	0.994
9	0.661	0.994	0.994
10	0.489	0.999	0.994
11	0.486	0.999	0.999
12	0.453	0.999	0.999
13	0.354	1.000	0.999
14	0.352	1.000	1.000
15	0.328	1.000	1.000

## 6.2 Penulangan Struktur Base Isolation

### 6.3.1 Perencanaan Balok Induk

Perhitungan tulangan balok induk bertujuan untuk mengetahui jumlah dan diameter tulangan utama serta jumlah kaki, jarak, dan diameter sengkang. Perhitungan ini dibuat berdasarkan momen lentur dan gaya geser hasil analisis struktur. Pada perencanaan balok diambil pada portal x dan portal y dengan hasil analisa terbesar. Sesuai dengan tipe dimensi dilakukan perhitungan pada masing-masing tipe. Berikut merupakan rekapitulasi hasil gaya-gaya dalam portal x hasil analisa SAP.

**Tabel 6.11** Gaya Dalam Balok BI

Lantai	Momen			Geser	Torsi
	tump(-)	lap	tump(+)		
Lantai 8	139.040	64.74	65.42	90.48	9.7
Lantai 7	157.290	61.728	61.72	93.81	36.77
Lantai 6	188.074	62.86	62.86	105.98	40.9
Lantai 5	219.040	63.67	75.38	118.31	44.62
Lantai 4	247.410	64.62	89.62	129.69	48.13
Lantai 3	267.530	65.28	99.86	137.92	49.77
Lantai 2	285.080	65.78	144.1	145.31	50.58
Lantai 1	298.760	65.95	127.26	151.74	51.73
base	301.220	99.147	109.65	153.03	52.93

#### Data Perencanaan

Beton  $f'_c$  : 30 MPa

Tulangan BJTD 40,  $f_y$  : 400 MPa

Tul. utama : D19

Sengkang : D10

Dimensi : 450 mm x 600 mm

$d = h - \text{selimut} - D_{\text{sengkang}} - D_{\text{tul.utama}}/2 = 600 - 40 - 10 - 19/2 = 540,5 \text{ mm}$

### Tumpuan 1

#### 1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)} \cong \frac{M_u}{\phi f_y (jd)}$$

Untuk daerah momen negatif, lengan momen lentur tulangan,  $jd$ , dapat diasumsikan sebesar  $0,9d$  (MacGregor,2009). Penampang juga diasumsikan dalam keadaan *tension controlled* ( $\phi = 0,9$ )

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,90d)}$$

$$A_s \geq \frac{301,22 \times 10^6}{0,9 \times 400 \times 0,9 \times 540,5}$$

$$A_s \geq 1720,05 \text{ mm}^2$$

#### 2. Menentukan lebar efektif balok-T

Lebar efektif balok-T ditetapkan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 8.12.2.

$$b_{eff1} \leq \frac{L}{4} = \frac{5600}{4} = 1400 \text{ mm}$$

$$b_{eff2} \leq b_w + 16h_f = 400 + 19(120) = 2680 \text{ mm}$$

Digunakan  $b_{eff} = 1400 \text{ mm}$

#### 3. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{1720,05 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1400} = 19,272 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{19,272}{0,836} = 23,22 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} 540,5 = 202,69 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t \dots$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

4. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{301,22 \times 10^6}{0,9 \times 400 \left( 450,4 - \frac{19,27}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 1576,15 \text{ mm}^2$$

5. Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

Kebutuhan tulangan minimum ditetapkan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1.

$$\text{syarat : } A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} 300 \times 540,5 = 740,11 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} 300 \times 540,5 = 776,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = 776,7 \text{ mm}^2$$

Karena  $A_{s \text{ perlu}} > A_{s \min}$ , maka digunakan  $A_{s \text{ perlu}}$  untuk perhitungan.

6. Menentukan tulangan utama terpasang

$$A_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 19^2 = 283,385 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan terpasang

$$n_{tul} = \frac{A_{spertu}}{A_{tulangan}} = \frac{1720,05}{283,385} = 6,25 \approx 7 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan utama **7 D19** dengan  $A_s = 1983,69 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak tulangan :

$$s = \frac{b_w - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times D_{senggang}) - (nD_{tul.utama})}{n - 1}$$

$$s = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{7 - 1}$$

$$= 26 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (ok)}$$

7. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266.67 \text{ MPa}$$

$$c_c = 40 \text{ mm (selimut beton)} + 10 \text{ mm (diameter sengkang)} = 50 \text{ mm}$$

$$s = 380 \left( \frac{280}{266.67} \right) - 2.5 \times 50 = 2003 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots \dots \text{(ok)}$$

$$s_{max} = 300 \left( \frac{280}{266.67} \right) = 315 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{(ok)}$$

8. Kontrol lendutan

$$\delta_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{5600}{360} = 15,56 \text{ mm}$$

$$Ec = 4700 \sqrt{f_y} = 4700 \sqrt{30} = 25742,96 \text{ MPa}$$

$$Q = 1DL + 1LL = 15,926 + 9.36 = 25,322 \text{ kN/m} = 25.322 \times 10^6 \text{ N/mm}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{450 \times 600^3}{12} = 7.2 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\delta^o = \left( \frac{5}{384} \times \frac{Q \times L^4}{EI} \right) = \left( \frac{5}{384} \times \frac{25,322 \times 5600^4}{25742.96 \times 7.2 \times 10^9} \right) = 1.92 \text{ mm}$$

1.92 mm <  $\delta$  ijin = 15.56 mm..... (OK)

#### 9. Cek Kapasitas Penampang

$$a = \frac{As \cdot fy}{0,85x f'c' x b} = \frac{1983,7 \times 400}{0,85 \times 30 \times 400} = 77,79 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= \phi \cdot As \cdot fy \cdot (d - 0.5a) \\ &= 0.9 \times 1983,7 \times 400 (540,5 - (0.5 \times 77,79)) \\ &= 358210578,84 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$Mu \leq \phi Mn$$

$$3,01 \times 10^8 \text{ Nmm} < 3,58 \times 10^8 \text{ Nmm}.....(\text{OK})$$

#### Lapangan

##### 1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0,90d)}$$

$$A_s \geq \frac{99,147 \times 10^6}{0,9 \times 400 \times 0,9 \times 540,5}$$

$$A_s \geq 566,15 \text{ mm}^2$$

##### 2. Menentukan lebar efektif balok-T

$$b_{eff1} \leq \frac{L}{4} = \frac{5600}{4} = 1400 \text{ mm}$$

$$b_{eff2} \leq b_w + 16h_f = 400 + 16(120) = 2680 \text{ mm}$$

Digunakan  $b_{eff} = 1400 \text{ mm}$

3. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{566,15 \times 400}{0,85 \times 30 \times 1400} = 6,34 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{6,34}{0,836} = 7,64 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8} d_t = \frac{3}{8} 540,5 = 202,69 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t \dots$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

4. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{99,147 \times 10^6}{0,9 \times 400 \left( 540,5 - \frac{7,64}{2} \right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 512,55 \text{ mm}^2$$

5. Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

Kebutuhan tulangan minimum ditetapkan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1.

$$\text{syarat : } A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$A_{s \min} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{30}}{400} 300 \times 540,5 = 740,11 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} 300 \times 540,5 = 756,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 756,7 \text{ mm}^2$$

Karena  $A_{sperlu} < A_{smin}$ , maka digunakan  $A_{smin}$ , untuk perhitungan.

6. Menentukan tulangan utama terpasang

$$A_{tulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 19^2 = 283,385 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan terpasang

$$n_{tul} = \frac{A_{sperlu}}{A_{tulangan}} = \frac{756,7}{283,385} = 2,6 \approx 3 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan utama 3 D19 dengan  $A_s = 850,15 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak tulangan :

$$s = \frac{b_w - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times D_{sengkan}) - (nD_{tul.utama})}{n - 1}$$

$$s = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$= 78 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (ok)}$$

7. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$



$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266.67 \text{ MPa}$$

$$c_c = 40 \text{ mm (selimut beton)} + 10 \text{ mm (diameter sengkang)} = 50 \text{ mm}$$

$$s = 380 \left( \frac{280}{266.67} \right) - 2.5 \times 50 = 2003 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots \dots (\text{ok})$$

$$s_{max} = 300 \left( \frac{280}{266.67} \right) = 315 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots \dots \dots (\text{ok})$$

### Tumpuan 2

1. Menghitung kebutuhan tulangan awal

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi f_y (0.90d)}$$

$$A_s \geq \frac{109,65 \times 10^6}{0.9 \times 400 \times 0.9 \times 540.5}$$

$$A_s \geq 612,13 \text{ mm}^2$$

2. Menentukan lebar efektif balok-T

$$b_{eff1} \leq \frac{L}{4} = \frac{5600}{4} = 1400 \text{ mm}$$

$$b_{eff2} \leq b_w + 16h_f = 400 + 16(120) = 2680 \text{ mm}$$

Digunakan  $b_{eff} = 1400 \text{ mm}$

3. Kontrol kondisi penampang

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b} = \frac{612,13 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1400} = 7,06 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{7,06}{0.836} = 8,45 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{8}d_t = \frac{3}{8}540,5 = 202,69 \text{ mm}$$

$c \leq 3/8 d_t \dots$  (*tension controlled*, asumsi awal benar)

4. Menentukan kebutuhan tulangan terpasang

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{M_u}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq \frac{109,65 \times 10^6}{0,9 \times 400 \left(540,5 - \frac{7,06}{2}\right)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq 567,2 \text{ mm}^2$$

5. Cek syarat kebutuhan tulangan minimum

Kebutuhan tulangan minimum ditetapkan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.5.1.

$$\text{syarat : } A_{s \min} = \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \geq \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$A_{s \min} = \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} b_w d = \frac{0,25\sqrt{30}}{400} 300 \times 540,5 = 740,11 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{400} 300 \times 540,5 = 756,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = 756,7 \text{ mm}^2$$

Karena  $A_{s \text{ perlu}} < A_{s \min}$ , maka digunakan  $A_{s \min}$ , untuk perhitungan.

6. Menentukan tulangan utama terpasang

$$A_{\text{tulangan}} = \frac{1}{4} \pi D^2 = \frac{1}{4} \pi 19^2 = 283,385 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan terpasang

$$n_{tul} = \frac{A_{spertu}}{A_{tulangan}} = \frac{756,7}{283,385} = 2,6 \approx 3 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan utama 3 D19 dengan  $A_s = 850,15 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak tulangan :

$$s = \frac{b_w - (2 \times \text{selimut}) - (2 \times D_{senggang}) - (nD_{tul.utama})}{n - 1}$$

$$s = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 16)}{3 - 1}$$

$$= 87 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm (ok)}$$

7. Cek jarak tulangan terhadap kontrol retak

Pengecekan jarak tulangan terhadap kontrol retak dilakukan berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 10.6.4.

$$\text{syarat : } s = 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5c_c \text{ dan tidak melebihi } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y = \frac{2}{3} (400) = 266.67 \text{ MPa}$$

$$c_c = 40 \text{ mm (selimut beton)} + 10 \text{ mm (diameter sengkang)} = 50 \text{ mm}$$

$$s = 380 \left( \frac{280}{266.67} \right) - 2.5 \times 50 = 2003 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots\dots (\text{ok})$$

$$s_{max} = 300 \left( \frac{280}{266.67} \right) = 315 \text{ mm} > 250 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{ok})$$

Menentukan tulangan geser terpasang

Gaya geser yang dipakai dalam perhitungan adalah gaya geser terfaktor,  $V_u$  **sejarak d** dari muka tumpuan sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.1.3.1 Gambar 5.3.

$$V_u = 153,03 \text{ kN } (L = 5600 \text{ mm})$$

$$V_{u'} = \frac{V_u}{2800} (2800 - d) = \frac{153,03}{2800} (2800 - 540,5) = 123,48 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} b_w d \text{ (SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1 Pers (11-3))}$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \sqrt{30} (300)(540,5) = 201,309 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 201,309 = 150,9824 \text{ kN}$$

Keterangan :

$\phi$  : Faktor reduksi geser= 0,75 (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)

$V_u' > \phi V_c$ .. (butuh tulangan geser) SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.1

$\phi(V_c + V_s) \geq V_u'$  SNI 2847:2013 Pasal 11.1.1 Pers (11-1)

$$0,75(201,309 + V_s) \geq 153,03 \text{ kN}$$

$$V_s \geq 13,67 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad \text{SNI 2847:2013 Pasal 11.4.7.2 Pers (11-15)}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y d} = \frac{13,67}{400 \times 540,5} = 0,6 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan sengkang dua kaki D10,  $A_v = 2 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times 10^2) = 157,08 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{A_v}{0,6} = \frac{157,08}{0,6} = 248,96 \text{ mm}$$

Jarak sengkang,  $s$ , tidak boleh lebih dari:

$$s = \frac{d}{2} = \frac{540,5}{2} = 196 \text{ mm} \quad \text{(SNI 2847:2013 pasal 11.4.5.1)}$$

Digunakan sengkang **2D10-150** pada daerah tumpuan dan sengkang **2D10-150** pada daerah lapangan.

**Tabel 6.12** penulangan Balok BI struktur Base Isolator

Lantai	Momen			Geser	Torsi
	tump(-)	lap	tump(+)		
Lantai 8	3D19	3D19	3D19	2D10-150	-
Lantai 7	4D19	3D19	3D19	2D10-150	-
Lantai 6	4D19	3D19	3D19	2D10-150	-
Lantai 5	5D19	3D19	3D19	2D10-150	-
Lantai 4	5D19	3D19	3D19	2D10-150	-
Lantai 3	6D19	3D19	3D19	2D10-150	-
Lantai 2	6D19	3D19	3D19	2D10-150	-
Lantai 1	7D19	3D19	3D19	2D10-150	-
base	7D19	3D19	3D19	2D10-150	-

### 6.3.2 Perencanaan Kolom

#### 6.3.2.1 Kontrol Dimensi Kolom

Sesuai dengan persyaratan pada SNI 2847:2013 komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor akibat beban gravitasi terfaktor yang melebihi  $A_g f_c' / 10$ , harus memenuhi ketentuan pada pasal 21.6.4, 21.6.5, dan 21.7.3.

Gaya aksial terfaktor  $\leq A_g f_c' / 10$

Gaya aksial terfaktor  $\leq (650 \times 650) \times (35) / 10$

2574 kN > 1478,75 kN.. (Ok)

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.1.1 dimensi penampang kolom terpendek tidak boleh kurang dari 300 mm, dimana  $(b_k = 650\text{mm}) > 300\text{mm}$ , maka syarat ini terpenuhi.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.1.2 rasio penampang dimensi terpendek terhadap penampang tegak lurus nya tidak boleh kurang dari 0,4. Dimana  $(b_k) = 650 \text{ mm}$  dan  $(h_k) = 650 \text{ mm}$ , sehingga  $(b_k/h_k) = 1$ , berdasarkan rasio penampang dimensi terpendek

terhadap penampang tegak lurus nya adalah  $1 > 0,4$  maka syarat ini terpenuhi.

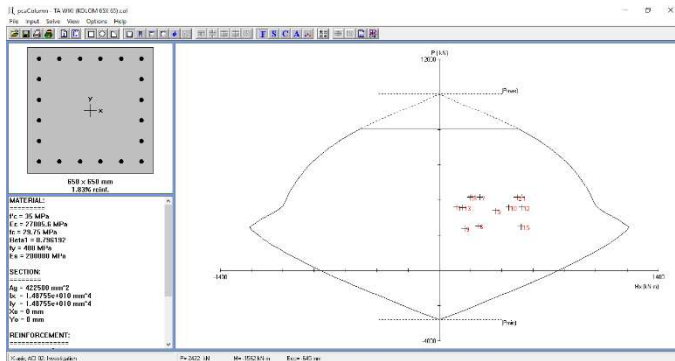
SNI 2847:2013 pasal 21.6.3.1 mensyaratkan rasio tulangan kolom tidak boleh kurang dari 1% dan tidak boleh lebih dari 6%, dimana:

$$A_s = 6192 \text{ mm}^2$$

$$A_g = (650 \times 650) = 250000 \text{ mm}^2$$

$$\rho = A_s / A_g = 2,45\%$$

Syarat,  $1\% < \rho < 6\%$ , maka syarat ini memenuhi.



**Gambar 6.11** Diagram Interaksi Kolom K1

Dari hasil analisa program spColumn didapatkan untuk kolom lantai dasar menggunakan tulangan longitudinal 20D22.

### 6.3.2.2 Penentuan Daerah Sendi Plastis

Daerah sendi plastis ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.1, yang menyatakan bahwa panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari yang terbesar dari persyaratan berikut:

- Tinggi komponen struktur di joint,  $h = 650 \text{ mm}$
  - $1/6$  bentang bersih komponen struktur
- $$= 1/6 \times 2800 \text{ mm} = 466,66 \text{ mm}$$

- 450 mm

Diambil daerah sendi plastis ( $l_o$ ) sepanjang 1000 mm.

Spasi tulangan transversal sepanjang sendi plastis ditentukan berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.3, bahwa spasi tulangan transversal sepanjang  $l_o$  komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari persyaratan berikut:

- Seperempat dimensi komponen struktur minimum

$$\frac{b}{4} = \frac{500}{4} = 125 \text{ mm}$$

- 6 kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$6d_b = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

- $s_o$ , dengan  $s_o$  tidak melebihi 150 mm dan tidak kurang dari 100 mm.

Nilai  $s_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm. Maka digunakan spasi sengkang ( $s$ ) = 100 mm sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom.

### 6.3.2.3 Pengekangan Kolom di Daerah Sendi Plastis

Untuk Ashmin sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 diperoleh dari nilai terbesar dari hasil rumus berikut :

Dengan asumsi bahwa  $s = 100$  mm,  $f_{yt} = 410$  MPa, selimut beton = 40 mm dan  $D_s = 13$  mm.

$$A_{sh1} = 0,3 \left( \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \right) \left( \frac{a_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{sh2} = 0,09 \left( \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \right)$$

$$b_c = b - 0,5d' - d_s = 500 - 0,5 \times 13 - 40 = 453,5 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = (500 - 40) \times (500 - 40) = 211600 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh1} = 0,3 \left( \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \right) \left( \frac{a_g}{A_{ch}} - 1 \right) = 210,76 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = 0,09 \left( \frac{s b_c f'_c}{f_{yt}} \right) = 348,42 \text{ mm}^2$$

Digunakan sengkang (hoop) 4D13-100

Aspasang  $= 4 \text{ kaki} \times 0,25 \times \pi \times (13)^2$

$= 530,929 \text{ mm}^2 > A_{sh} = 348,42 \text{ mm}^2 \text{ (ok)}$

**Tabel 6.13** Penulangan Kolom Base Isolator

Type		K1	K2
Dimensi		650 X 650	550 X 550
Tul Longitudinal		20D22	16D22
Fc (Mpa)		35	35
Fy (Mpa)		40	40
Tul. Geser	Tumpuan	4D13-100	4D13-100
	Lapangan	4D13-150	4D13-150



## 6.4 Hasil Analisa Pushover Base Isolation

Hasil analisis *pushover* yang dilakukan dengan program SAP2000 *Nonlinier* adalah kurva kapasitas (*Capacity Curve*) skema kelelahan berupa distribusi sendi plastis yang terjadi dan titik kinerja (*Performance Point*).

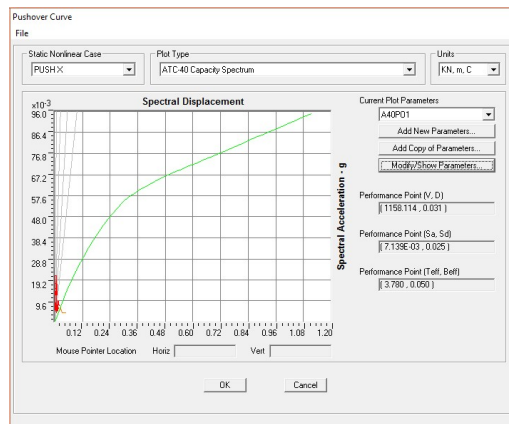
### 6.4.1 Target Perpindahan

#### a. Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

##### Arah X

Metode ini terdapat secara langsung pada SAP2000 V15, *Display – Show Static Pushover Curve – Pilih plot type ATC-40 Capacity Spectrum – Modify/Show Parameters*. Data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Dari kurva respon spektrum rencana SNI 1726:2012 maka didapat skala factor yaitu 1,22625. Pada *demand spectrum definition* isikan function respon spektrum yang telah dibuat sebelumnya dan isikan skala faktornya ( $g\ I/R = 1,226$ ).
2. Parameter damping = 5%
3. *Structural behavior* : type A (bangunan baru)



**Gambar 6.12 .** Kurva Pushover Tipe ATC-40 Capacity Spectrum Arah X

Dari kurva diatas diperoleh target displacement (V,D):

V : 1158,144 kN dan D : 0,031 m

**Tabel 6.14** Distribusi Sendi Plastis Pushover Arah X

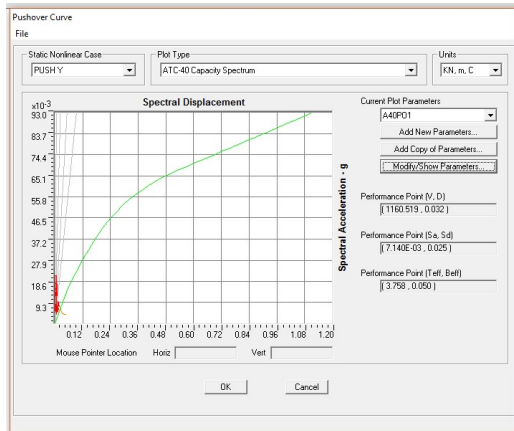
TABLE: Pushover Curve - PUSH X											
Step	Displacement m	BaseForce KN	AtoB	BtoO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	0.000025	0	388	0	0	0	0	0	0	0	3888
1	0.026375	984.074	388	0	0	0	0	0	0	0	3888
2	0.038027	1416.938	388	6	0	0	0	0	0	0	3888
3	0.065139	2386.441	380	83	0	0	0	0	0	0	3888
4	0.093696	3287.062	3658	230	0	0	0	0	0	0	3888
5	0.121611	4033.721	3574	314	0	0	0	0	0	0	3888
6	0.150899	4748.21	3523	365	0	0	0	0	0	0	3888
7	0.179875	5423.718	3496	392	0	0	0	0	0	0	3888
8	0.211944	6134.652	3449	439	0	0	0	0	0	0	3888
9	0.242635	6778.319	3436	452	0	0	0	0	0	0	3888
10	0.270811	7329.43	3377	509	2	0	0	0	0	0	3888
11	0.302947	7904.956	3358	492	38	0	0	0	0	0	3888
12	0.334045	8412.426	3278	506	104	0	0	0	0	0	3888
13	0.361531	8822.318	3233	473	182	0	0	0	0	0	3888
14	0.390862	9207.14	3154	538	196	0	0	0	0	0	3888
15	0.419421	9536.159	3140	528	220	0	0	0	0	0	3888
16	0.44617	9821.976	3128	497	263	0	0	0	0	0	3888
17	0.490665	10242.556	3079	529	280	0	0	0	0	0	3888
18	0.526345	10549.643	3056	541	291	0	0	0	0	0	3888
19	0.559274	10817.367	3039	519	330	0	0	0	0	0	3888
20	0.59117	11064.318	2983	573	332	0	0	0	0	0	3888
21	0.623134	11299.847	2979	571	338	0	0	0	0	0	3888
22	0.651108	11502.168	2963	587	338	0	0	0	0	0	3888
23	0.69821	11836.327	2909	621	357	1	0	0	0	0	3888
24	0.730765	12064.287	2894	629	356	9	0	0	0	0	3888
25	0.777659	12390.504	2890	581	383	34	0	0	0	0	3888
26	0.804059	12573.737	2890	576	349	73	0	0	0	0	3888
27	0.830459	12756.775	2889	573	325	101	0	0	0	0	3888
28	0.872529	13048.053	2885	561	280	162	0	0	0	0	3888
29	0.907304	13288.754	2883	528	311	166	0	0	0	0	3888
30	0.955781	13623.672	2881	446	362	198	0	1	0	0	3888
31	0.988041	13846.268	2836	455	391	204	0	2	0	0	3888
32	1.017647	14046.227	2834	452	355	241	0	6	0	0	3888
33	1.044571	14227.895	2831	453	357	230	0	17	0	0	3888
34	1.075726	14437.392	2830	435	367	227	0	29	0	0	3888
35	1.105045	14634.178	2827	388	411	205	0	57	0	0	3888
36	1.134294	14829.661	2827	381	397	212	0	71	0	0	3888
37	1.168505	15057.611	2822	384	395	205	0	82	0	0	3888
38	1.206119	15307.024	2802	404	383	195	0	104	0	0	3888
39	1.234995	15497.581	2800	406	342	199	0	141	0	0	3888
40	1.26463	15691.081	2800	404	336	155	0	193	0	0	3888
41	1.29173	15867.416	2799	405	328	153	0	203	0	0	3888
42	1.319975	16050.783	2799	391	329	165	0	204	0	0	3888

Dengan melihat tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada saat terjadi perpindahan maksimum ( $\delta_T = 0,031$  m), struktur termasuk dalam level kinerja gedung **B (Operational)**, yaitu tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan non struktural. Dan gedung masih dapat dipakai secara normal.

### Arah Y

Metode ini terdapat secara langsung pada SAP2000 V15, *Display – Show Static Pushover Curve – Pilih plot type ATC-40 Capacity Spectrum – Modify/Show Parameters*. Data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Dari kurva respon spectrum rencana SNI 1726:2012 maka didapat skala factor yaitu 1,22625. Pada *demand spectrum definition* isikan function respon spectrum yang telah dibuat sebelumnya dan isikan skala faktornya.
2. Parameter damping = 5%
3. *Structural behavior* : type A (bangunan baru)



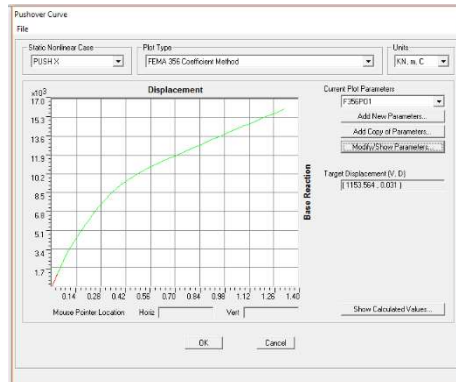
**Gambar 6.13 .** Kurva Pushover Tipe ATC-40 Capacity Spectrum Arah Y

**Tabel 6.15** Distribusi Sendi Plastis Pushover Arah Y

Step	Displacement m	BaseForce KN	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LSstoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	0.000952	0	3888	0	0	0	0	0	0	0	3888
1	0.027352	1000.74	3888	0	0	0	0	0	0	0	3888
2	0.039219	1448.988	3877	9	0	0	0	0	0	0	3888
3	0.060824	2430.824	3747	145	0	0	0	0	0	0	3888
4	0.093367	3171.565	3594	294	0	0	0	0	0	0	3888
5	0.123982	3929.761	3557	331	0	0	0	0	0	0	3888
6	0.150585	4555.449	3496	392	0	0	0	0	0	0	3888
7	0.178212	5175.26	3458	430	0	0	0	0	0	0	3888
8	0.206977	5784.279	3384	504	0	0	0	0	0	0	3888
9	0.236433	6368.945	3358	530	0	0	0	0	0	0	3888
10	0.263357	6874.281	3298	572	18	0	0	0	0	0	3888
11	0.299225	7454.23	3218	538	132	0	0	0	0	0	3888
12	0.326705	7858.134	3172	541	175	0	0	0	0	0	3888
13	0.362563	8338.005	3126	536	226	0	0	0	0	0	3888
14	0.391491	8696.288	3067	583	238	0	0	0	0	0	3888
15	0.424842	9071.882	3025	573	290	0	0	0	0	0	3888
16	0.458523	9426.205	3016	552	320	0	0	0	0	0	3888
17	0.497565	9807.868	3013	542	333	0	0	0	0	0	3888
18	0.544706	10229.463	3011	520	357	0	0	0	0	0	3888
19	0.588997	10593.429	3000	509	364	15	0	0	0	0	3888
20	0.621108	10842.069	2968	502	379	39	0	0	0	0	3888
21	0.650457	11058.902	2914	531	380	63	0	0	0	0	3888
22	0.6976	11393.255	2880	471	396	141	0	0	0	0	3888
23	0.734391	11648.929	2853	468	411	156	0	0	0	0	3888
24	0.760791	11830.121	2835	460	422	171	0	0	0	0	3888
25	0.788651	12020.512	2812	456	413	205	0	2	0	0	3888
26	0.815051	12199.851	2806	447	412	212	0	11	0	0	3888
27	0.841451	12378.673	2802	451	397	224	0	14	0	0	3888
28	0.868963	12564.695	2788	465	394	212	0	29	0	0	3888
29	0.898656	12764.764	2776	476	391	205	0	40	0	0	3888
30	0.939309	13037.709	2771	470	396	171	0	80	0	0	3888
31	0.967429	13225.335	2769	464	379	163	0	113	0	0	3888
32	0.996413	13418.095	2760	444	361	178	0	145	0	0	3888
33	1.026105	13615.337	2759	440	344	186	0	159	0	0	3888
34	1.059299	13835.082	2755	443	332	182	0	176	0	0	3888
35	1.087516	14021.534	2748	450	317	167	0	206	0	0	3888
36	1.127947	14286.991	2740	458	298	153	0	239	0	0	3888
37	1.166471	14538.638	2720	459	294	169	0	246	0	0	3888
38	1.200856	14760.851	2695	438	324	171	0	260	0	0	3888
39	1.228453	14938.305	2691	433	315	181	0	268	0	0	3888
40	1.257051	15121.53	2681	440	304	190	0	273	0	0	3888
41	1.296156	15371.908	2673	437	312	167	0	299	0	0	3888
42	1.320952	15529.923	2668	438	295	146	0	341	0	0	3888

Dengan melihat tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pada saat terjadi perpindahan maksimum ( $\delta_T = 0,032$  m), struktur termasuk dalam level kinerja gedung **B (Operational)**, yaitu tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan non struktural. Dan gedung masih dapat dipakai secara normal.

## b. Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)



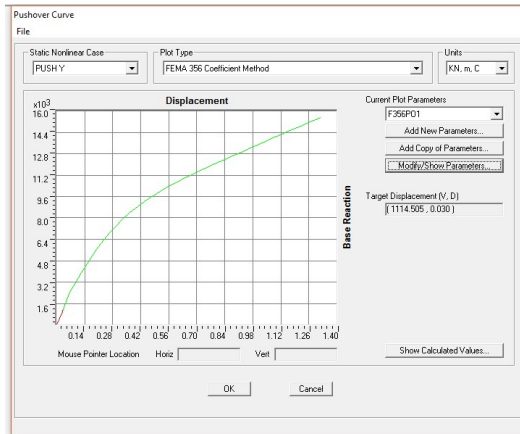
**Gambar 6.14 .** Kurva Pushover Tipe FEMA 356 Coefficient Method Arah X

Dengan melihat tabel 6.9 dapat disimpulkan bahwa pada saat terjadi perpindahan maksimum ( $\delta_T = 0,031$  m), struktur termasuk dalam level kinerja gedung **B (Operational)**, yaitu tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan non struktural. Dan gedung masih dapat dipakai secara normal.

### Arah Y

Metode ini terdapat secara langsung pada SAP2000 V15, *Display – Show Static Pushover Curve – Pilih plot type FEMA 356 Coefficient Method – Modify/Show Parameters*. Data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. *Demand spectrum* yang digunakan adalah *Defind Function Respon Spectrum* yang direncanakan sebelumnya
2. Scale factor = 1,22625 dan batasan periode  $T_s = 1,09$  yang telah dihitung sebelumnya



**Gambar 6.15 .** Kurva Pushover Tipe FEMA 356 Coefficient Method Arah Y

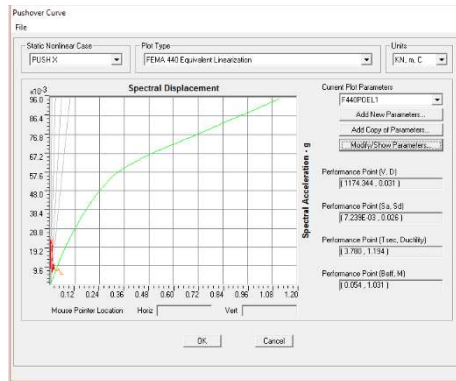
Dengan melihat tabel 6.10 dapat disimpulkan bahwa pada saat terjadi perpindahan maksimum ( $\delta_T = 0,03$  m), struktur termasuk dalam level kinerja gedung **B (Operational)**, yaitu tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan non struktural. Dan gedung masih dapat dipakai secara normal.

### c. Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 440)

#### Arah X

Metode ini terdapat secara langsung pada SAP2000 V15, *Display – Show Static Pushover Curve – Pilih plot type FEMA 440 Coefficient Method – Modify/Show Parameters*. Data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

3. *Demand spectrum* yang digunakan adalah *Defind Function Respon Spectrum* yang direncanakan sebelumnya
4. Scale factor = 1,22625 dan batasan periode  $T_s = 1,09$  yang telah dihitung sebelumnya



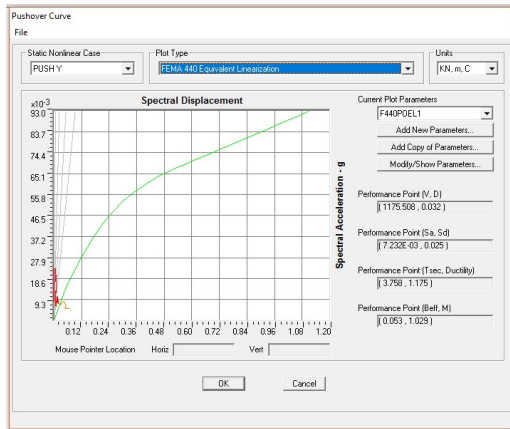
**Gambar 6.16 .** Kurva Pushover Tipe FEMA 440 Coefficient Method Arah X

Dengan melihat tabel 6.9 dapat disimpulkan bahwa pada saat terjadi perpindahan maksimum ( $\delta_T = 0,031$  m), struktur termasuk dalam level kinerja gedung **B (Operational)**, yaitu tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan non struktural. Dan gedung masih dapat dipakai secara normal.

### Arah Y

Metode ini terdapat secara langsung pada SAP2000 V15, *Display – Show Static Pushover Curve – Pilih plot type FEMA 440 Coefficient Method – Modify/Show Parameters*. Data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

5. *Demand spectrum* yang digunakan adalah *Defind Function Respon Spectrum* yang direncanakan sebelumnya
6. Scale factor = 1,22625 dan batasan periode  $T_s = 1,09$  yang telah dihitung sebelumnya



**Gambar 6.17** . Kurva Pushover Tipe FEMA 440 Coefficient Method Arah Y

Dengan melihat tabel 6.10 dapat disimpulkan bahwa pada saat terjadi perpindahan maksimum ( $\delta_T = 0,135$  m), struktur termasuk dalam level kinerja gedung **B (Operational)**, yaitu tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan non struktural. Dan gedung masih dapat dipakai secara normal.

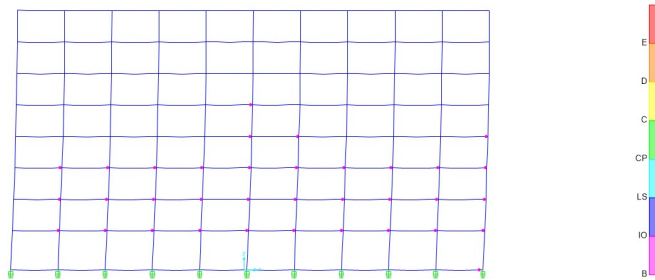
#### 6.4.2 Mekanisme Sendi Plastis

Pada mekanisme sendi plastis ini akan disajikan gambar skema distribusi sendi plastis, diambil dari salah satu portal yang di design tiga dimensi.

##### Arah X

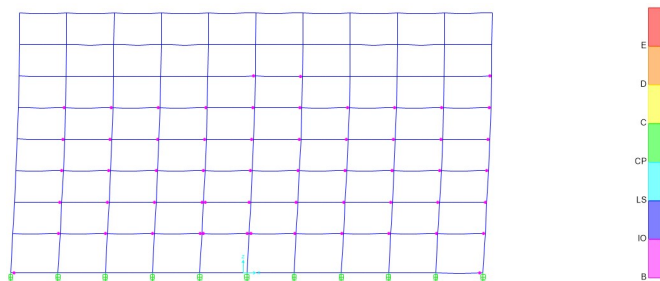
Step 5 diperoleh nilai displacement 0,1216 m dan gaya geser 4033,72 kN. Telah terjadi distribusi sendi plastis di beberapa struktur balok yaitu dengan level kinerja B ditandai dengan warna merah muda yang artinya batas elastis pada struktur yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur. Tidak ada kerusakan pada struktur dan non struktural. Bangunan dapat berfungsi dengan normal.





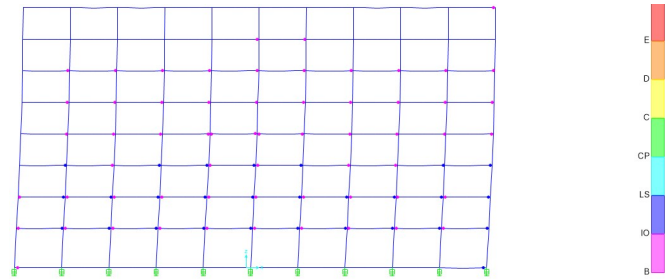
**Gambar 6.18** . Distribusi Sendi Plastis Step 5 Arah X

Pada step 10 nilai displacement yang diperoleh yaitu 0,2708 m dan gaya geser 7029,43 kN. Telah terjadi distribusi sendi plastis di beberapa struktur balok yaitu dengan level kinerja B ditandai dengan warna merah muda yang artinya batas elastis pada struktur yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur. Tidak ada kerusakan pada struktur dan non struktural. Bangunan dapat berfungsi dengan normal.



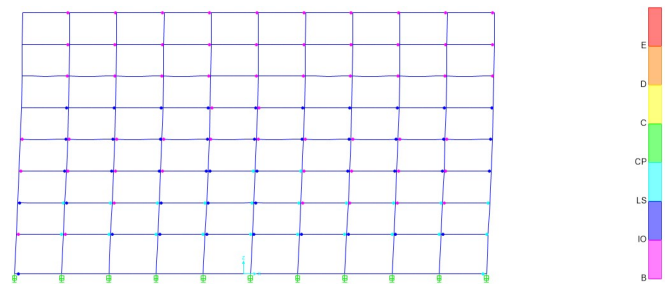
**Gambar 6.19** . Distribusi Sendi Plastis Step 10 Arah X

Pada step 15 diperoleh nilai displacement 0,419 m dan gaya geser 9536,159 kN. Telah terjadi distribusi sendi plastis dengan level kinerja IO ditandai dengan warna biru tua yang artinya tidak ada kerusakan pada komponen struktur namun hanya kerusakan kecil pada komponen non struktural. Kekuatan dan kekakuannya mendekati sama dengan kondisi sebelum gempa. Bangunan dapat tetap berfungsi.



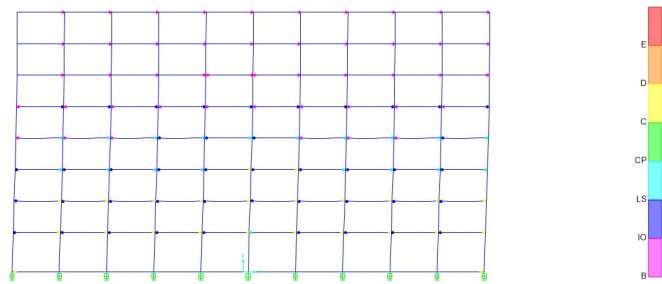
**Gambar 6.20 . Distribusi Sendi Plastis Step 15 Arah X**

Pada step 30 diperoleh nilai displacement 0,955 m dan gaya geser 13623,76 kN. Telah terjadi distribusi sendi plastis level kinerja LS ditandai dengan warna biru muda yang artinya terjadi kerusakan pada komponen struktur dan non struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan dapat berfungsi lagi jika sudah mengalami perbaikan.



**Gambar 6.20 . Distribusi Sendi Plastis Step 30 Arah X**

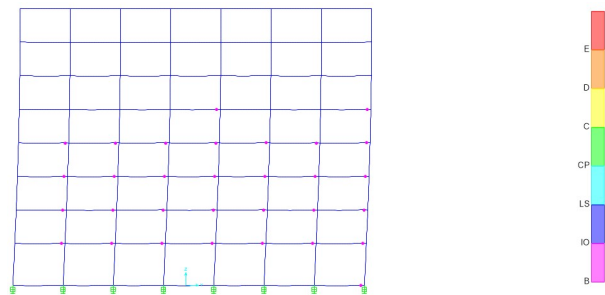
Pada step 42 diperoleh nilai displacement 1,32 m dan gaya geser 16050,78 kN. Telah terjadi distribusi sendi plastis dengan level kinerja C ditandai dengan warna kuning yang artinya batas maksimum struktur dalam menahan gaya geser gempa. Pada performance level ini bangunan sudah tidak dapat dipakai (*operational state*)



**Gambar 6.21** . Distribusi Sendi Plastis Step 42 Arah X

### Arah Y

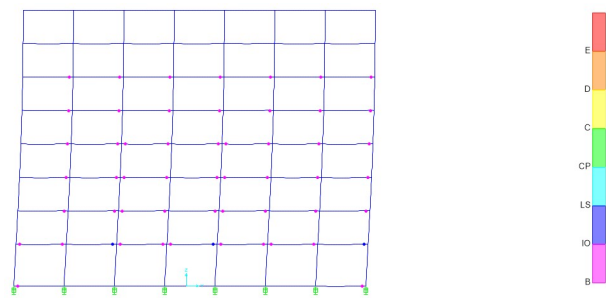
Pada step 5 diperoleh nilai displacement 0,1239 m dan gaya geser sebesar 3929,761kN. Telah terjadi distribusi sendi plastis di beberapa struktur balok yaitu dengan level kinerja B ditandai dengan warna merah muda yang artinya batas elastis pada struktur yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur. Tidak ada kerusakan pada struktur dan non struktural. Bangunan dapat berfungsi dengan normal.



**Gambar 6.22** . Distribusi Sendi Plastis Step 5 Arah Y

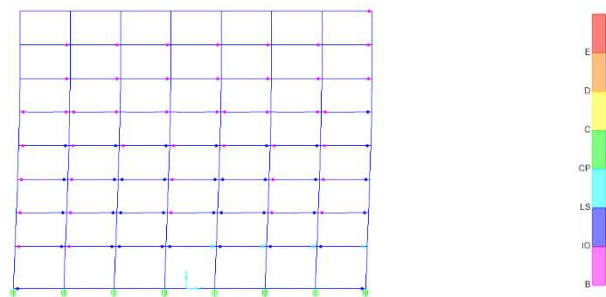
Pada step 10 nilai displacement yang diperoleh yaitu 0.263 m dan gaya geser 6724,28 kN. Telah terjadi distribusi sendi plastis dengan level kinerja IO ditandai dengan warna biru tua yang artinya tidak ada kerusakan pada komponen struktur namun hanya kerusakan kecil pada komponen non

struktur. Kekuatan dan kekakuannya mendekati sama dengan kondisi sebelum gempa. Bangunan dapat tetap berfungsi.



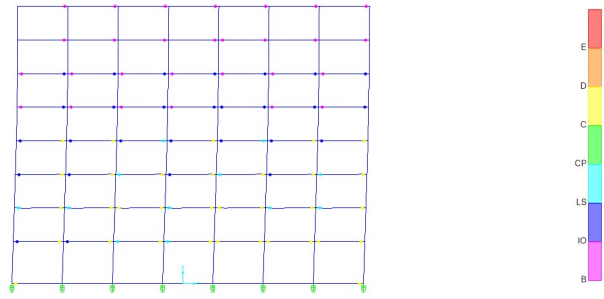
**Gambar 6.23.** Distribusi Sendi Plastis Step 10 Arah Y

Pada step 20 diperoleh nilai displacement 0,621 m dan gaya geser 10842,069 kN. Telah terjadi distribusi sendi plastis level kinerja LS ditandai dengan warna biru muda yang artinya terjadi kerusakan pada komponen struktur dan non struktur mulai dari kecil hingga tingkat sedang. Kekakuan struktur berkurang tapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap keruntuhan. Bangunan dapat berfungsi lagi jika sudah mengalami perbaikan.



**Gambar 6.24 .** Distribusi Sendi Plastis Step 20 Arah Y

Pada step 42 diperoleh nilai displacement 1,32 m dan gaya geser 15529,92 kN. Telah terjadi distribusi sendi plastis dengan level kinerja C ditandai dengan warna kuning yang artinya batas maksimum struktur dalam menahan gaya geser gempa. Pada performance level ini bangunan sudah tidak dapat dipakai (*operational state*).



**Gambar 6.25 .** Distribusi Sendi Plastis Step 42 Arah Y

## BAB VII

### EVALUASI HASIL ANALISA STRUKTUR

#### 7.1 Perbandingan Gaya Geser Dasar, Displacement dan Simpangan Antar Lantai Menurut SNI 1726:2012

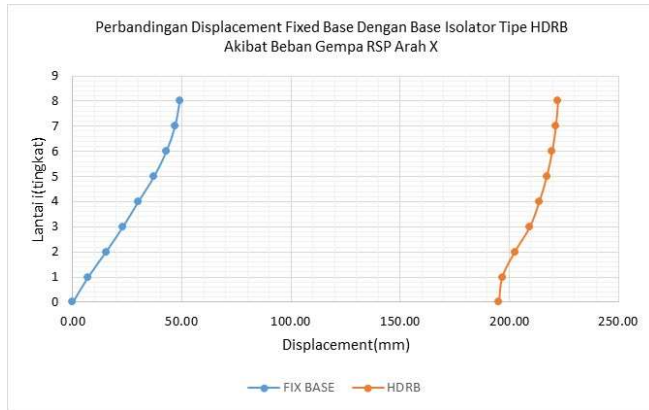
Dari hasil perhitungan yang telah dianalisa sebelumnya didapatkan perbedaan  $V_{base}$  shear pada struktur *fix base* dan struktur *base isolation* adalah sebagai berikut.

**Tabel 7.1.** Hasil Analisis  $V_{Base}$  Shear

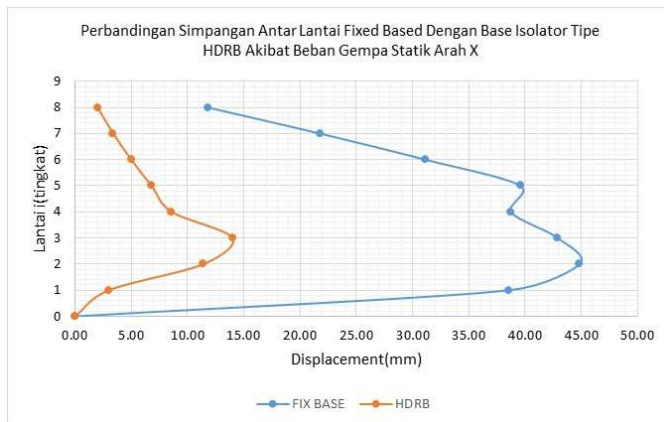
	FIX BASE	BASE ISLOATOR	Reduksi
	V(kN)	V(kN)	%
<b>Gempa X</b>	3577.191	1194.964	66.59%
<b>Gempa Y</b>	3662.461	1197.444	67.30%

Berdasarkan tabel diatas, nilai gaya geser di atas struktur base isolation dasar mengalami penurunan sebesar 66.59% arah x dan 67,30% arah y. Hal ini berarti base isolation dapat mereduksi gaya gempa yang terjadi terhadap gaya geser yang direncanakan sesuai dengan sistem struktur terisolasi.

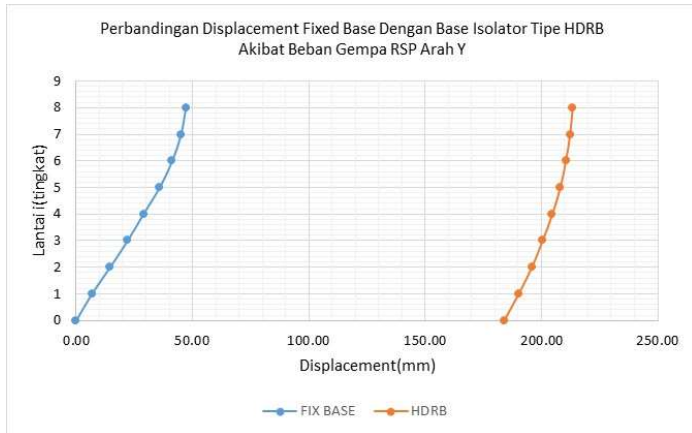
Untuk melihat respon antara *fixed base* dengan *base isolator*, maka dilakukan dengan cara melihat perbandingan displacement dan simpangan antar lantai sesuai SNI 1726-2012 yang dapat dilihat pada **tabel 6.9, tabel 6.10, tabel 6.11, tabel 6.12, tabel 6.24, tabel 6.25, tabel 6.26, tabel 6.27** sehingga dapat diperoleh grafik perbandingan sebagai berikut:



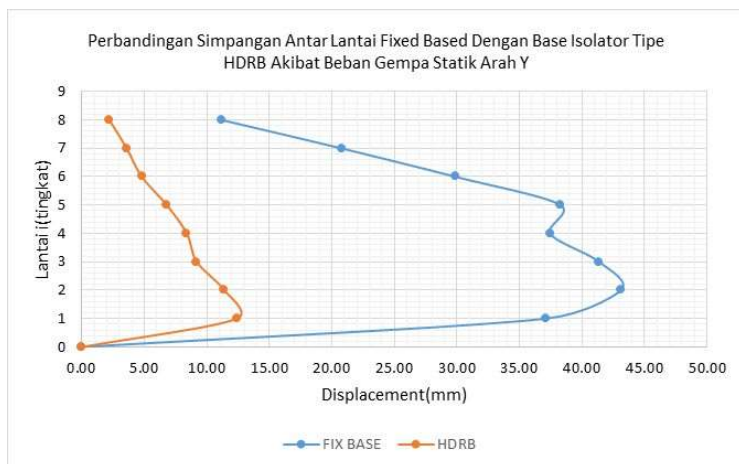
**Gambar 7.1.** Grafik perbandingan displacement *fixed base* dengan *HDRB* akibat gempa respon spectrum arah x.



**Gambar 7.2.** Grafik perbandingan simpangan ( $\Delta$ ) *fixed base* dengan *HDRB* akibat gempa respon spectrum arah x.



**Gambar 7.3.** Grafik perbandingan displacement *fixed base* dengan *HDRB* akibat gempa respon spectrum arah y.



**Gambar 7.4.** Grafik perbandingan simpangan ( $\Delta$ ) *fixed base* dengan *HDRB* akibat gempa respon spectrum arah y.



**Tabel 7.1.** Perbandingan displacement gedung yang menggunakan *HDRB* dengan *fixed base* akibat gempa dinamik

Gempa Dinamik			
Arah X			Peningkatan displacement
	Sistem Isolasi	Fixed base	
Displacement Lantai Atas (DA) (mm)	222.40	133.20	
Displacement Isolator (DB) (mm)	195.30		
Selish displacement : DA-DB	27.1		
Reduksi displacement	79.65%		
Arah Y			Peningkatan displacement
	Sistem Isolasi	Fixed base	
Displacement Lantai Atas (DA) (mm)	213.40	135.47	
Displacement Isolator (DB) (mm)	184		
Selish displacement : DA-DB	29.4		
Reduksi displacement	78.30%		

Keterangan:

$$\text{Peningkatan displacement : } \frac{(DA_{\text{isolasi}} - DA_{\text{fixbased}})}{DA_{\text{fixbased}}} \times 100\%$$

$$\text{Reduksi displacement : } \frac{\text{Selisih Displacement}}{DA_{\text{fixbased}}} \times 100\%$$

**Tabel 7.2.** Nilai reduksi simpangan antar lantai pada gedung yang menggunakan *HDRB* dengan *fixed base* akibat gempa dinamik x

Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ ) Akibat Respon Spectrum Arah X			
Lantai	Fixed base (mm)	HDRB (mm)	Reduksi (%)
8	66.79	2.00	97.01%
7	21.78	3.40	84.39%
6	31.15	5.00	83.95%
5	39.58	6.80	82.82%
4	38.74	8.60	77.80%
3	42.91	14.00	67.37%
2	44.85	11.40	74.58%
1	38.58	3.00	92.22%
Rata-Rata :			82.52%

**Tabel 7.3.** Nilai reduksi simpangan antar lantai pada gedung yang menggunakan *HDRB* dengan *fixed base* akibat gempa dinamik y

<b>Simpangan Antar Lantai (<math>\Delta</math>) Akibat Respon Spectrum Arah Y</b>			
Lantai	Fixed base (mm)	HDRB (mm)	Reduksi (%)
8	11.18	2.20	80.31%
7	20.77	3.60	82.67%
6	29.87	4.80	83.93%
5	38.29	6.80	82.24%
4	37.45	8.40	77.57%
3	41.38	9.20	77.77%
2	43.11	11.40	73.56%
1	37.10	12.40	66.58%
<b>Rata-Rata :</b>			<b>78.08%</b>

Keterangan:

$$\text{Reduksi simpangan antar lantai : } \frac{(\Delta_{\text{fix based}} - \Delta_{\text{HDRB}})}{\Delta_{\text{fix based}}} \times 100\%$$

Dari tabel dan grafik perbandingan di atas, dapat dilihat bahwa *displacement base isolator (HDRB)* lebih besar daripada *fixed base*. Hal ini dikarenakan deformasi dari isolator itu sendiri sehingga menyebabkan meningkatnya *displacement* dan berdampak pada lantai – lantai di atasnya.

*Displacement* lantai atas setelah dikurangi *displacement* isolator seperti yang terlihat pada tabel 7.1 dan 7.2, dapat diartikan bahwa *displacement* lantai atas yang menggunakan base isolator lebih kecil dari pada fix based baik arah x maupun arah y.

Berdasarkan tabel 7.3, tabel 7.4, tabel 7.5, tabel 7.6, nilai simpangan antar lantai yang menggunakan *HDRB* lebih kecil dibanding dengan *fixed base* dikarenakan adanya isolator, maka gaya gempa yang mengenai struktur akan terlebih dahulu bekerja pada isolator kemudian diteruskan ke struktur atas. Ini menunjukkan bahwa penggunaan isolator mengurangi simpangan antar lantai.

## 7.2 Perbandingan Momen dan Gaya Geser

Untuk perbandingan momen, gaya geser, dan torsi pada elemen balok ditinjau berdasarkan tipe balok yang terbesar di suatu portal, sedangkan kolom ditinjau berdasarkan kolom lantai paling bawah yang mengalami gaya aksial terbesar disuatu titik. Berikut merupakan penjelasan dari gaya-gaya tersebut.

**Tabel 7.4** Perbandingan Perbandingan momen dan gaya geser

Type		Fix Base	Base Isolator	Presentase (%)
Type Balok		BI		
Momen	Tump (-)	433.090	298.760	31%
	Tump (+)	88.73	65.95	26%
	Lap	231.646	127.26	45%
Tul. Geser		190.26	151.74	20%
Type Kolom		K1		
Momen		1026.5	471.41	54%
Tul. Geser		244.986	165.98	32%
Type Kolom		K2		
Momen		364.78	270.51	26%
Tul. Geser		195.83	97.198	50%

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa, untuk balok dan kolom secara keseluruhan gaya-gaya dalam pada struktur *base isolation* mengalami penurunan terhadap struktur fix base.

### 7.3 Hasil Analisa Pushover

Dari hasil analisa yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa target perpindahan kedua struktur tersebut yang didapatkan dari hubungan antara gaya gempa dan perpindahan yang terjadi hingga struktur runtuh. Perpindahan yang ditinjau adalah perpindahan atap (*roof displacement*) dan gaya geser dasar (*base shear*) termasuk dalam level kinerja menurut ATC-40, FEMA 356, dan FEMA 440 sebagai berikut :

#### a. Target Perpindahan

Pada program SAP2000 didapatkan kurva kapasitas *FEMA 356*, *FEMA 440* dan *ATC-40*. Selanjutnya *performance point* didapat dari titik perpotongan antara *bilinear force curve* (garis merah) dengan *capacity curve* (garis hijau).

**Tabel 7.5** Perbandingan Target Perpindahan (*Performance Point*) Pada Struktur Base Isolation

Target Perpindahan	Arah X		
	Base Isolator		Level kinerja
	V (kN)	D (m)	
ATC-40	1158.114	0.031	B
FEMA 356	1153.56	0.031	B
FEMA 440	1174.34	0.031	B
Target Perpindahan	Arah Y		
	Base Isolator		Level kinerja
	V (kN)	D (m)	
ATC-40	1160.519	0.032	B
FEMA 356	1114.505	0.03	B
FEMA 440	1175.508	0.032	B

Dari tabel diatas menurut ATC,-40,FEMA 356 dan FEMA 440 level kinerja yang didapat base isolation adalah **B** (*Operational*), yaitu tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan non struktural.

## BAB VIII

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 8.1 Kesimpulan

Dari hasil perencanaan dan analisis pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perbandingan displacement, simpangan antar lantai, pada gedung yang ditinjau menggunakan base isolator tipe HDRB dengan fixed base adalah :
  - a. Gaya geser yang terjadi pada struktur mengalami reduksi sebanyak 66,59%. Arah x dan 67,30% arah y.
  - b. Struktur gedung yang ditinjau menggunakan *HDRB* memiliki *displacement* yang lebih besar dari pada struktur gedung *fixed based*. Pada kasus yang ditinjau, peningkatan displacement gedung yang menggunakan HDRB dibandingkan dengan *fixed based* terhadap beban gempa yang terjadi adalah :
    - Arah x : 66,97%
    - Arah y : 57,53%
  - c. Struktur gedung yang ditinjau menggunakan *HDRB* mampu mengurangi simpangan antar lantai ( $\Delta$ ) terhadap struktur gedung *fixed based*. Penurunan simpangan antar lantai pada gedung yang ditinjau menggunakan HDRB dibandingkan dengan *fixed based* terhadap beban gempa yang terjadi adalah :
    - Arah x : 82,52%
    - Arah y : 78,08%
2. Level kinerja struktur gedung yang ditinjau memakai HDRB dan *fixed based* menurut ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440 adalah **B (Operational)**, yaitu tidak ada kerusakan yang

berarti pada struktur dan non struktural dan gedung masih dapat dipakai secara normal

## **8.2 Saran**

Dari tugas akhir ini hanya menganalisis pengaruh penggunaan base isolator jenis *HDRB* pada struktur gedung beton bertulang menggunakan *pushover analysis*. Oleh sebab itu disarankan untuk studi selanjutnya, analisis dapat dilakukan dengan membandingkan penggunaan base isolator tipe yang lebih bervariasi, sehingga penerapan prinsip isolator pada struktur gedung dapat diketahui lebih detail.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aisah N, S dan Megantara Y, 2011. “ Permodelan Stuktur Bangunan Gedung Bertingkat Beton Bertulang Rangka Terbuka Simetris di Daerah Rawan Gempa Dengan Metode Analisis Pushover”. Palembang: Seminar Nasional Ovoer, Balai Diklat Wilayah VII Kementrian Pekerjaan Umum.
- Arifin, Zainal, Dkk. 2015. “ Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Pushover Analysis”. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Applied Technology Council. 1996.” ATC 40 - Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”. Redwood City: California.
- AASHTO Guide Specifications for Seismic Isolation Design (AASHTO, 2010)
- ASCE. 2000. FEMA 356 - Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings”.Federal Emergency Management Agency: Washington, D.C.
- ASCE 7-02. 2002.” American Society of Civil Engineers *Minimum Design Loads for Buildings and other Structures*”. ASCE Standard: USA.
- Badan Standar Nasional. 2012.”SNI 1726:2012: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Non Gedung”. Jakarta.

- Badan Standar Nasional. 2013.”SNI 2847:2013: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung”. Jakarta.
- Bajad, Kishor, Wallet, Rahul, 2014.” Applications of ampers for RCC Building to Reduce Seismic Risk”. International Journal of Research in Advent Technology, Vol.2, No.2, E-SSN: 2321-9637.
- Budiono, Bambang, Setiawan, Andri. 2014. “ Studi Komparasi Sistem Isolasi Dasar *High-Damping Rubber Bearing* dan *Friction Pendulum System* pada Bangunan Beton Bertulang”. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Clough,W, Ray, Penzien, Joseph. 1988. “Dynamics Of Structure”. Berkeley: University of California.
- Dewobroto, Wiryanto. 2005. “ Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover”. Tangerang : Universitas Pelita Harapan.
- Dewobroto, Wiryanto. 2013. “ Komputer Rekayasa Struktur Dengan SAP2000”. Tangerang :Universitas Pelita Harapan.
- FEMA-273. (1996). “NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings, Report No. FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.



Ismail, Anas, Febrin. 2012. “ Pengaruh Penggunaan Seismic Base Isolation System Terhadap Respons Struktur Gedung Hotel Ibis Padang”. Padang, Indonesia.

Iqbal dkk. 2015. “ Evaluasi Kinerja Base Isolation Tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB) Pada Modifikasi Gedung Dinas Prasarana Jalan, Tata Ruang Dan Permukiman Sumatera Barat Dengan Analisa Pushover”. Surabaya, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Kelly, James M dan Naeim, Farzad, 1999.” Design Of Seismic Isolated Structures From Theory to Practice”. California: Jhon Wiley & Sons, Inc.

Kelly, Trevor E. 2001.“Base Isolation Of Structures”.New Zealand: Holmes Consulting Group Ltd

Lestari, Dwita, Suryani, 2012. “Perbandingan Kinerja Penggunaan Berbagai Base Isolator Pada Gedung Tsunami Refuge Center Kantor Gubernur Sumatera Barat”. Padang: Universitas Andalas.

Mustofa, Badrul, 2010. “ Analisis Gempa Nias Dan Gempa Sumatera barat Dan Kesamaannya Yang Tidak Menimbulkan Tsunami”. Padang: Universitas Andalas.

Nanda, Bharadwaj, 2010.” Aplication Of Tuned Liquid Damper For Controlling Structural Vibration”.

Rourkela: Department Of Civil Engineering National  
Institute Of Technology Rourkela.

Pratiwi, Eka, Desy dan Teruna, Daniel, Rumbi. 2013.” Kajian Pengaruh Karakteristik Mekanik Damper Leleh Baja Terhadap Respon Bangunan Akibat Gaya Gempa Dengan Menggunakan Analisis Riwayat Waktu”. Medan: Univeritas Sumatera Utara.

Sukamta, Davy. 2016.” Teknologi Gempa Dari Jepang Sudah Diterapkan Di Jakarta”. Jakarta: Indonesia.

Teruna, Daniel, Rumbi. 2005.”Analisi Respon Bangunan Dengan Base Isolator Akibat Gaya Gempa”. Medan: Univeritas Sumatera Utara.

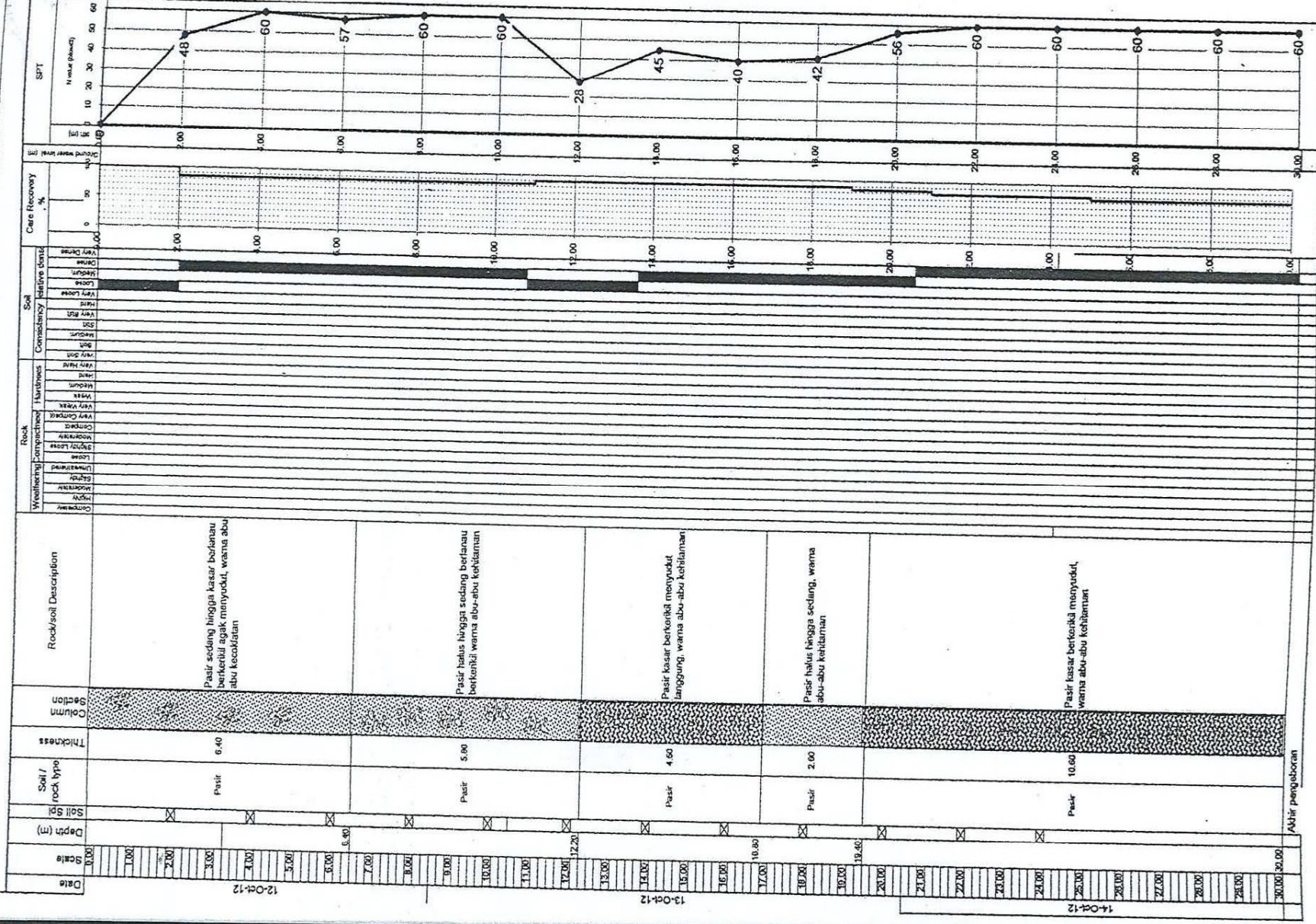
## Geological Drill Log

Provok	: Malioboro City
Lokasi	: Jalan Laksda A
Tanggal	: 11 Oktober 201
Elevasi Muka	: - 4.75 m

Proyek	: Malioboro City
Lokasi	: Jalan Laksda Adi Sucipto, Km 8, Sleman Yogyakarta
Tanggal	: 11 Oktober 2012
Elevasi Muka	: - 4.75 m

Kedalaman	: 30
Muka Ir Tanah	: 0.0
Operator	: Yul

BM 1





# *Seismic isolation product line-up*

High Damping Rubber Bearing   Lead Rubber Bearing   Natural Rubber Bearing  
Elastic Sliding Bearing



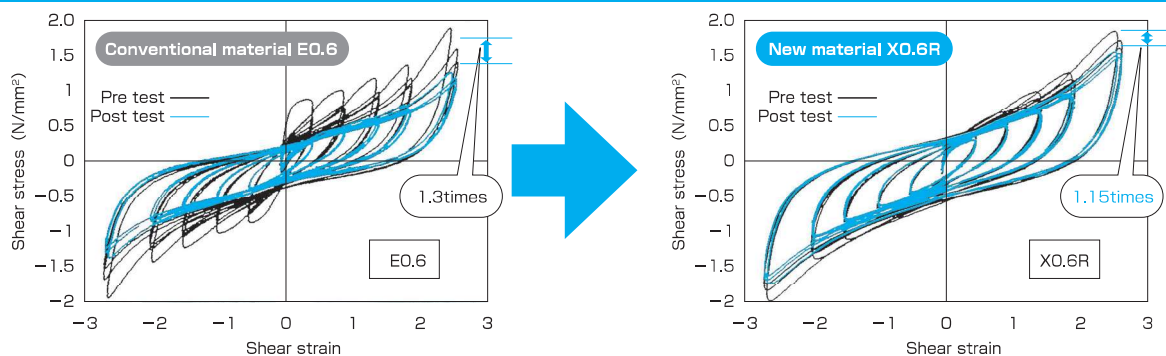
# High damping rubber bearing series X0.6R

## Features of high damping rubber bearing series X0.6R

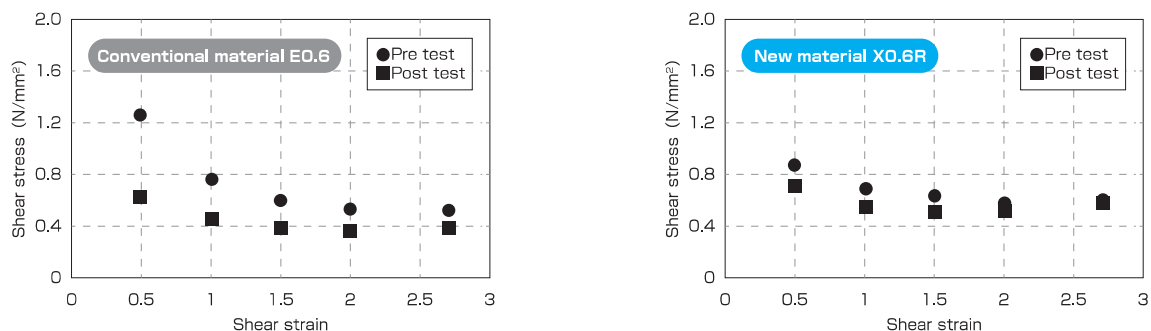
A high damping rubber bearing is a laminated rubber structure that includes a special filler compound in the rubber itself to provide energy absorption performance. It combines damping and spring elements and is widely adopted as a seismic isolator.

However, the traditional high damping rubber shows loading hysteresis dependency, where its rate of change of stiffness has become reduced and restoration becomes progressively worse after repeated loading under increasing deformation. With Bridgestone's next-generation of high damping rubber X0.6R, the effect of loading hysteresis dependency is greatly reduced and the properties become much simpler to manage. Furthermore, it is also more accommodating to the reduction in ultimate properties caused by bi-directional loading.

### ● Reduction in loading hysteresis dependency



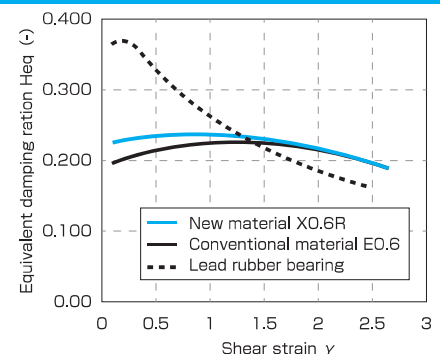
Compared to conventional high damping rubber, the change of equivalent shear stiffness (1cycle/3cycle) in repeated loading is reduced (1.30 → below 1.15). The properties of seismic isolation rubber bearings are defined by the 3rd cycle. The result is a bearing that reduces the load variation during initial deformation.



Traditional high damping rubber shows shear stress reduction after large deformation due to the effect of loading hysteresis dependency, but the next-generation high damping rubber is able to minimize the change in properties before and after large deformation. By reducing the effect of loading hysteresis dependency, the analysis of a high damping rubber bearing system can be easily managed and the accuracy of the overall seismic isolation design can be improved.

### ● Increasing of equivalent damping ratio

Compared to traditional high damping rubber, the equivalent damping ratio (at shear strain  $\gamma = \pm 100\%$ ) of high damping rubber X0.6R is increased (0.225 → 0.240). In addition, a higher damping ratio can be obtained in the range of  $\gamma \leq 170\%$ , while maintaining the same value in the range of  $\gamma \geq 170\%$  shear strain, as compared to traditional high damping rubber. Furthermore, compared to the same diameter of lead rubber bearing (lead diameter / outer diameter = 0.2), a higher damping ratio can be obtained in the range of  $\gamma \geq 130\%$  for high damping rubber X0.6R.





# Ultimate Properties of High Damping Rubber Bearings by Horizontal Bi-directional Loading

## ● Outline

The ultimate deformation of high-damping rubber is degraded by applying bi-directional loading compared to unidirectional loading. Through the use of a horizontal bi-directional loading test, with a full scale model high-damping rubber bearing, torsional deformation can be seen in the side view of the rubber. Compared with unidirectional loading, the phenomenon of breaking at early stage by bi-directional loading has been identified. The standard value of the ultimate properties, influenced by bi-directional loading, is shown below and the ultimate compressive stress is confirmed.

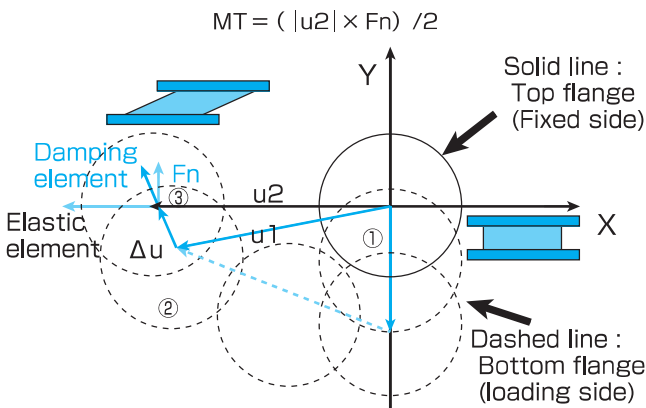


Figure 1: The mechanism of torsional deformation

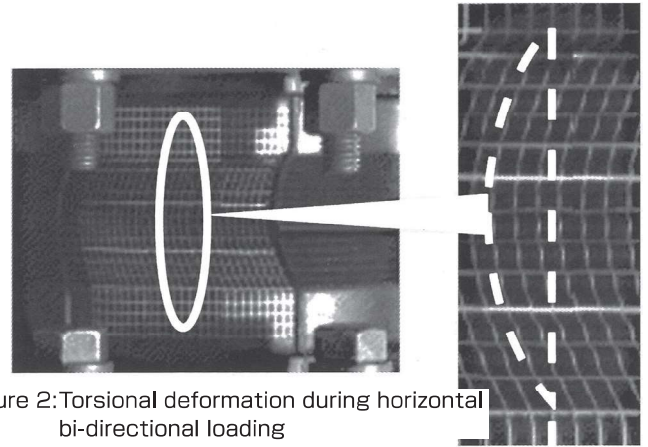


Figure 2: Torsional deformation during horizontal bi-directional loading

As shown in Figure 1, when the bi-directional loading is applied on a high damping rubber bearing, the elastic force occurs in the shear deformation direction, while the damping force occurs in the tangential direction of the deformation trajectory. The torsional moment created by the damping elements and the shear deformation is present at each rubber layer of the laminated structure. The additional shear strain  $\gamma_\phi$  caused by torsional deformation is added to the shear strain caused by the rubber shear deformation itself. Thus, it will rupture relatively early compared to the unidirectional loading test. However, the torsional deformation caused by bi-directional loading does not affect the buckling ultimate strain, as verified experimentally.

## ● Ultimate Property of Horizontal Bi-directional Loading

According to the Japan Society of Seismic Isolation (JSSI) guidelines, the final ultimate strain is determined by the minimum of the ultimate strain  $\gamma_L$  by unidirectional loading and the ultimate strain  $\gamma_{B0}$  by bi-directional loading.

### ● Ultimate strain by unidirectional loading

Ultimate strain by unidirectional loading is defined as shown in Table 1.

Table 1: Standard value of ultimate strain by unidirectional loading

Compound	Ultimate strain $\gamma_L$ by unidirectional loading
XO.4R	$0.9 \times S_2 \times 100$ ( $0.9 \times S_2 < 4$ ) 400% ( $0.9 \times S_2 \geq 4$ )
XO.6R	$0.9 \times S_2 \times 100$ ( $S_2 < 4.5$ ) 400% ( $S_2 \geq 4.5$ )

$S_2$  : Second shape factor

### ● Ultimate strain by bi-directional loading

Ultimate strain by bi-directional loading is defined as shown in Table 2.

Table 2: Standard value of ultimate strain by bi-directional loading

Compound	Formula of ultimate strain $\gamma_{B0}$ by bi-directional loading
XO.4R	$\gamma_{B0} = (5.80 \times S_2 + 9.05) / (S_2 + 4.49)$
XO.6R	$\gamma_{B0} = (5.00 \times S_2 + 9.05) / (S_2 + 4.49)$

$S_2$  : Second shape factor

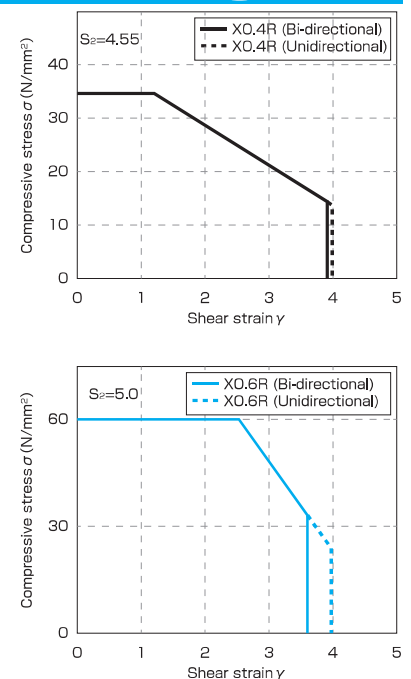


Figure 3: Comparison example of ultimate property diagram

# Product Specification & Description of Performance Characteristics

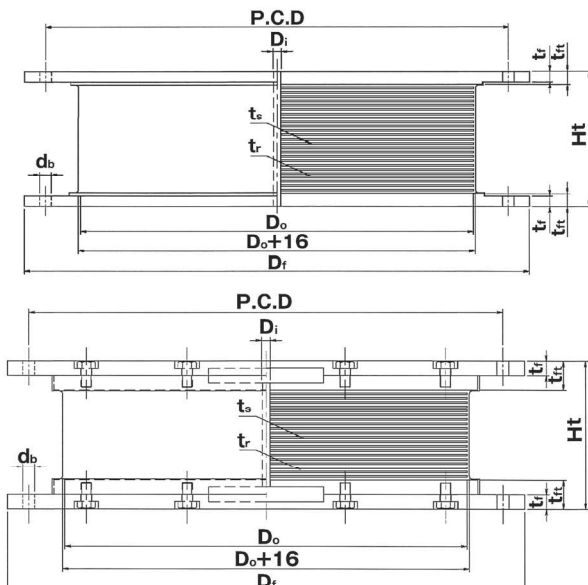
## High Damping Rubber Bearing (HDR)

Seismic isolation material certification number by Ministry of Land, Infrastructure and Transport

MVBR-0468 (X 0.4R) Acquired in December 2012

MVBR-0430 (X 0.6R) Acquired in February 2011

## Product Dimension

Item		Description
Shape & dimensions of each part	Outer diameter : $D_o$ (mm)	
	Inner diameter : $D_i$ (mm)	
	Effective plane area : $A$ ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	
	Thickness of each rubber layer : $t_r$ (mm)	
	Number of rubber layers : $n$	
	Total rubber thickness : $H = n \times t_r$ (mm)	
	First shape factor $S_1 = (D_o - D_i) / (4 \times t_r)$	
	Second shape factor $S_2 = D_o / (n \times t_r)$	
	Diameter of flange : $D_f$ (mm)	
	Thickness of flange: edge/center : $t_f/t_{fc}$ (mm)	
	Connecting bolt PCD : PCD (mm)	
	Diameter of connecting bolt hole x qty : $d_o$ (mm) x qty	
	Bolt size (assumption) : M ( $d_o - 3$ )	
	Thickness of each reinforced steel plate : $t_s$ (mm)	
	Total height : $H_t$ (mm)	
	Total weight 1 (kN) = 1/9.80665 (tonf)	

## Rubber Material

Rubber code  
(standard temperature 20°C, standard strain  $\gamma = 100\%$ )

Rubber code	Shear modulus $G_{eq}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Equivalent damping ratio $H_{eq}$
X0.4R	0.392	0.220
X0.6R	0.620	0.240

Combination of rubber materials  
(weight ratio %)

Rubber designation	Natural rubber Synthetic rubber	Reinforcement agent, Filler	Vulcanization agent and others
Rubber layers			
X0.4R	35 and above	20 and above	45 and below
X0.6R	35 and above	25 and above	40 and below
Cover rubber	40 and above	15 and above	40 and below

Properties of rubber materials

Item	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation at Break (%)	Hardness (JIS A)	100% modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus E (N/mm <sup>2</sup> )	Bulk modulus $E_\infty$ (N/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus correction factor according to hardness
Test Standard	JIS K6251	JIS K6251	JIS K6253	JIS K6251			
Inner rubber	X0.4R	7 以上	840 以上	37 ± 8	0.43 ± 0.2	6.2	1300
	X0.6R	8.5 以上	780 以上	53 ± 5	0.73 ± 0.2	7.6	1500
Cover rubber	12 以上	600 以上	—	—			

## Steel Material

Each steel part

	Material
Reinforced steel plate	SS400 (JIS G 3101)
Flange plate*1	SS400 (JIS G 3101)
Connecting plate*1	SS400 (JIS G 3101)

\*1: Optionally SM490 (JIS G 3106).

Anti-rust treatment of flange plate

Preparation	Remove rust up to blasting quality of SSPC-SP-10 (SIS Sa 2 1/2)
Primer	Zinc-rich paint 75 $\mu$ m x 1 coat
Middle coat	Epoxy resin paint 60 $\mu$ m x 1 coat
Finishing	Epoxy resin paint 35 $\mu$ m x 1 coat
Total film thickness	170 $\mu$ m and above

\*1: Standard color is gray.

\*2: Others anti-rust treatment of flange plate than painting are also available.  
Please contact us for more details.

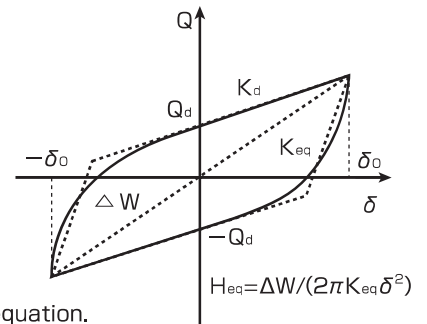
## Shear Properties

Equivalent shear stiffness  $K_{eq}$  , equivalent damping ratio  $H_{eq}$  ,  
initial stiffness  $K_1$  , post-yield stiffness  $K_2$  , characteristic strength  $Q_d$

Shear properties of HDR is dependent on shear strain amplitude.

The shear strain dependency of each property is expressed by following equations.

- Rubber Material XO.4R  $G_{eq}(\gamma) = 0.054 \times \gamma^4 - 0.416 \times \gamma^3 + 1.192 \times \gamma^2 - 1.583 \times \gamma + 1.145$   
( $0.1 \leq \gamma \leq 2.7$ )  
 $H_{eq}(\gamma) = -0.006 \times \gamma^3 + 0.018 \times \gamma^2 - 0.008 \times \gamma + 0.216$   
 $u(\gamma) = -0.0110 \times \gamma^3 + 0.0325 \times \gamma^2 - 0.0132 \times \gamma + 0.3617$
- Rubber Material XO.6R  $G_{eq} = G_0 \times (2.855 - 3.878 \gamma + 2.903 \gamma^2 - 1.016 \gamma^3 + 0.1364 \gamma^4)$   
( $0.1 \leq \gamma \leq 2.7$ )  
 $G_0 = 0.620$ ; shear modulus at  $\gamma = 1.0$   
 $H_{eq} = H_{eq0} \times (0.9150 + 0.2364 \gamma - 0.1804 \gamma^2 + 0.02902 \gamma^3)$   
 $H_{eq0} = 0.240$ ; equivalent damping ratio at  $\gamma = 1.0$   
 $u = u_0 \times (0.9028 + 0.2711 \gamma - 0.2083 \gamma^2 + 0.03421 \gamma^3)$   
 $u_0 = 0.408$ ; function giving ratio of characteristic strength to maximum shear force of a loop at  $\gamma = 1.0$



Based on above equations, each shear properties shall be determined by the following equation.

Equivalent shear stiffness:  $K_{eq} = G_{eq} \cdot A/H$  Equivalent damping ratio:  $H_{eq} = \Delta W / (2 \pi \cdot K_{eq} \delta^2)$

Initial stiffness:  $K_1 = 10 \times K_2$

Post-yield stiffness:  $K_2 = K_{eq} (1 - u)$

Characteristic strength:  $Q_d = u \cdot K_{eq} \cdot H \cdot \gamma$

## Temperature dependency

Each shear property is corrected to the value at standard temperature of 20°C by following equations.

(Applicable range:  $-10 \leq T \leq 40^\circ\text{C}$ ) (T: Temperature during inspection)

- Rubber Material XO.4R :  $K_{eq}(\text{corrected value at } 20^\circ\text{C}) = K_{eq}(T^\circ\text{C}) / (1.205 - 1.862 \times 10^{-2} \cdot T + 5.991 \times 10^{-4} T^2 - 8.991 \times 10^{-6} T^3)$   
:  $H_{eq}(\text{corrected value at } 20^\circ\text{C}) = H_{eq}(T^\circ\text{C}) / (1.065 - 4.134 \times 10^{-3} \cdot T + 1.096 \times 10^{-4} T^2 - 3.102 \times 10^{-6} T^3)$
- Rubber Material XO.6R :  $K_{eq}(\text{corrected value at } 20^\circ\text{C}) = K_{eq}(T^\circ\text{C}) / (1.205 - 1.862 \times 10^{-2} \cdot T + 5.991 \times 10^{-4} T^2 - 8.991 \times 10^{-6} T^3)$   
:  $H_{eq}(\text{corrected value at } 20^\circ\text{C}) = H_{eq}(T^\circ\text{C}) / (1.065 - 4.134 \times 10^{-3} \cdot T + 1.096 \times 10^{-4} T^2 - 3.102 \times 10^{-6} T^3)$

● Standard value of temperature dependency Standard temperature (20°C)

Properties values		- 10°C	0°C	30°C	40°C
XO.4R	Equivalent shear stiffness $K_{eq}$	within + 46%	within + 21%	within - 6%	within - 16%
	Equivalent damping ratio $H_{eq}$	within + 12%	within + 7%	within - 4%	within - 12%
XO.6R	Equivalent shear stiffness $K_{eq}$	within + 46%	within + 21%	within - 6%	within - 16%
	Equivalent damping ratio $H_{eq}$	within + 12%	within + 7%	within - 5%	within - 13%

## Performance variation

The rate of change of main causes (manufacturing variation, aging, temperature change) which affect shear properties shall be shown as below.

Rubber materials		XO.4R		XO.6R	
		Equivalent shear stiffness $K_{eq}$	Equivalent damping ratio, $H_{eq}$ Function giving ratio of characteristic strength to maximum shear force, $u$	Equivalent shear stiffness $K_{eq}$	Equivalent damping ratio, $H_{eq}$ Function giving ratio of characteristic strength to maximum shear force, $u$
Manufacturing variation *1		± 10%	± 10%	± 10%	± 10%
Aging *2		+ 10%	- 10%	+ 10%	- 10%
Ambient temperature variation 20°C ± 20°C	(+) side	+ 21%	+ 7%	+ 21%	+ 7%
	(-) side	- 16%	- 12%	- 16%	- 13%
Total	(+) side *3	+ 41%	- 13%	+ 41%	- 13%
	(-) side *3	- 26%	- 2%	- 26%	- 3%

\*1 : The variation of each product (standard value) shall be within ± 20% and variation of all (per project) products (total of standard values) shall be within ± 10%. However, if the total units of products is less than 8 units per project, the variation (total of standard values) shall be within ± 15%. (For  $H_{eq}$ ,  $\Sigma (H_{eq} \times K_{eq}) / \Sigma K_{eq}$  shall be within 15%)

\*2 : Predicted rate of change after 60 years at 20°C standard temperature.

\*3 : The equivalent shear stiffness  $K_{eq}$  and equivalent damping ratio  $H_{eq}$  is dependent to each other. The indicated rate of change of  $H_{eq}$  are corresponding to both maximum and minimum rate of change of  $K_{eq}$  respectively.



## ● Compressive Properties

### ■ Compressive stiffness $K_V$

- Compressive stiffness  $K_V$  shall be determined by the following equation.

$$K_V = E_C \cdot \frac{A}{H} \quad E_C = \frac{E(1+2\kappa S_1^2)}{1+E(1+2\kappa S_1^2)/E_\infty}$$

### ■ Ultimate compressive stress

- Critical stress  $\sigma_{cr}$  at zero shear strain shall be determined by the following equation.

$$\sigma_{cr} = \alpha_c \cdot \frac{\pi}{4} (G_{eq} \cdot E_b)^{0.5} \cdot S_2$$

However,  $E_b = E_{cr} (1 + 2/3 \cdot \kappa \cdot S_1^2) / \{1 + E_{cr} (1 + 2/3 \cdot \kappa \cdot S_1^2) / E_\infty\}$

$\alpha_c$ : Correction factor determined from our test data

Rubber Material XO.4R:  $\alpha_c=0.88$  (if  $S_2 \geq 5$ )  $\alpha_c=0.88 (1 - 0.07 (5 - S_2))$  (if  $5 > S_2$ )

Rubber Material XO.6R:  $\alpha_c=1.45$  (if  $S_2 \geq 5$ )  $\alpha_c=1.45 - 0.3 (5 - S_2)$  (if  $5 > S_2$ )

$E_{CR} : 3 \times G_{eq}$   $E_{CR} (=3 \times 0.624) = 1.872$  (XO.6R)  $E_{CR} (=3 \times 0.392) = 1.176$  (XO.4R)

- Ultimate compressive stress at any shear strain  $\sigma_{cr}'(\gamma)$  shall be determined by  $\sigma_{cr}$  in the following equation.

$$\sigma_{cr}'(\gamma) = \sigma_{cr} \cdot (1 - \frac{\gamma}{S_2})$$

- The ultimate compressive stress shall not exceed the upper limit  $\sigma_L$  determined as below and the strain region corresponding to the ultimate strain  $\gamma_L$  at 0 compressive stress.

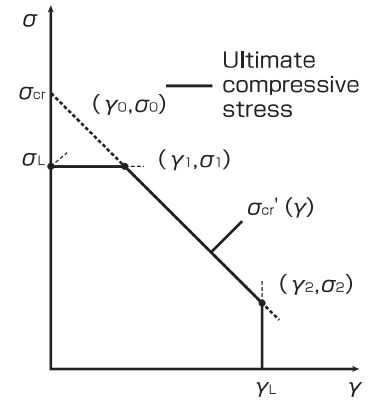
Rubber Material XO.4R:  $\alpha_L=40$  (if  $S_2 \geq 5.0$ )  $\alpha_L=40 + 10 (S_2 - 5)$  (if  $5.0 > S_2 \geq 3.0$ )

$\gamma_L$  is defined as minimum value among  $\lceil 400\% \rceil$ ,  $\lceil S_2 \times 0.9 \times 100\% \rceil$ ,  $\lceil (5.80 \times S_2 + 9.05) / (S_2 + 4.49) \times 100\% \rceil$

Rubber Material XO.6R:  $\alpha_L=60$  (if  $S_2 \geq 4.9$ )  $\alpha_L=48 + 14 (S_2 - 4)$  (if  $4.9 > S_2 \geq 4.0$ )

$\alpha_L=24 + 24 (S_2 - 3)$  (if  $4.0 > S_2 \geq 3.5$ )  $\alpha_L=22 + 28 (S_2 - 3)$  (if  $3.5 > S_2 \geq 3.0$ )

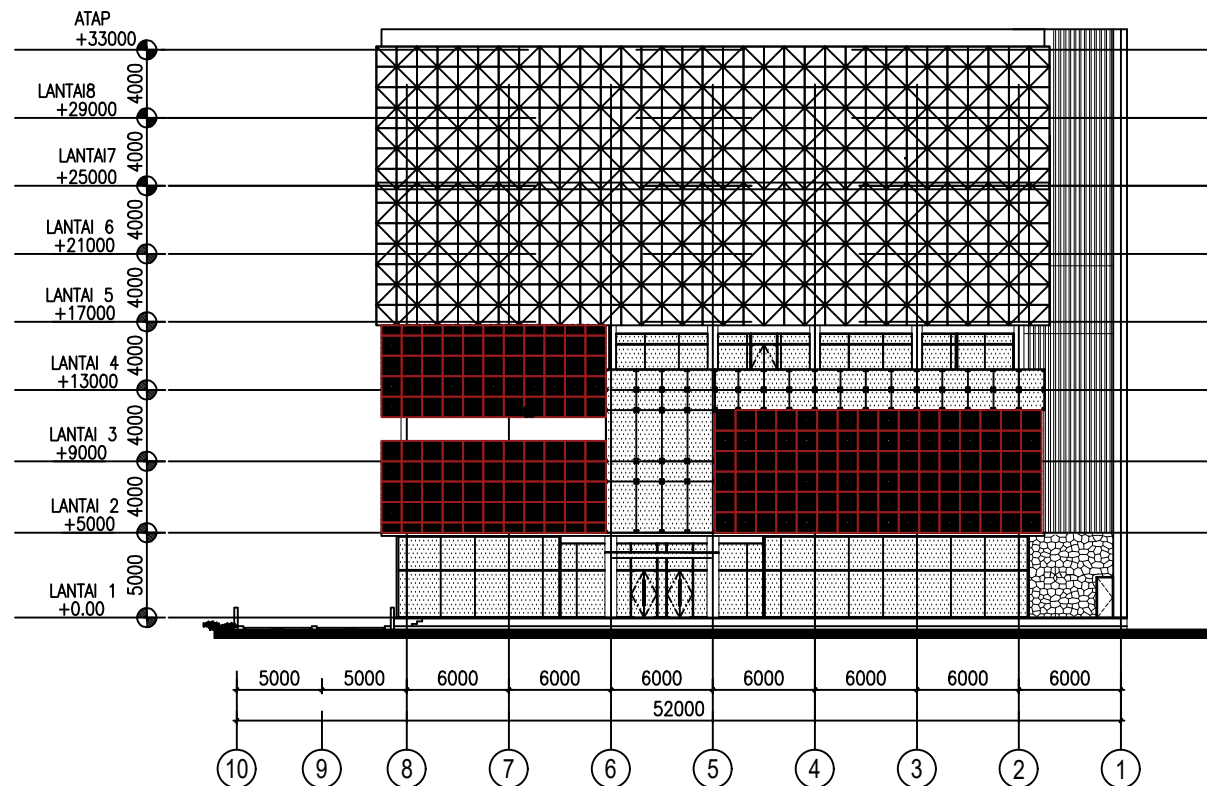
$\gamma_L$  is defined as minimum value among  $\lceil 400\% \rceil$ ,  $\lceil S_2 \times 0.9 \times 100\% \rceil$ ,  $\lceil (5.00 \times S_2 + 9.05) / (S_2 + 4.49) \times 100\% \rceil$



# Code

Designation	Compound	Shear Modulus (N/mm <sup>2</sup> )	Equivalent Damping Ratio
X6R	X0.6R	0.620	0.240

Characteristics		HH060X6R	HH065X6R	HH070X6R	HH075X6R	HH080X6R	HH085X6R	HH090X6R	HH095X6R	HH100X6R	HH110X6R	HH120X6R	HH130X6R	HH140X6R	HH150X6R	HH160X6R
Physical Dimensions	Outer Diameter (mm)	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
	Inner Diameter (mm)	15	15	15	15	20	20	20	20	25	55	55	55	65	65	80
	Effective Plane Area ( $\times 10^2$ mm <sup>2</sup> )	2826	3317	3847	4416	5023	5671	6359	7085	7849	9480	11286	13249	15361	17638	20056
	Thickness of One Rubber Layer (mm)	4.0	4.4	4.7	5.0	5.4	5.7	6.0	6.4	6.7	7.4	8.0	8.7	9.5	10.0	10.4
	Number of Rubber Layers (—)	50	45	43	40	37	35	33	31	30	27	25	23	21	20	19
	Total Rubber Thickness (mm)	200	198	202	200	200	200	198	198	201	200	200	200	200	200	198
	First Shape Factor (—)	36.6	36.1	36.4	36.8	36.1	36.4	36.7	36.3	36.4	35.3	35.8	35.8	35.1	35.9	36.5
	Second Shape Factor (—)	3.00	3.28	3.46	3.75	4.00	4.26	4.55	4.79	4.98	5.51	6.00	6.50	7.02	7.50	8.10
	Diameter of Flange (mm)	900	950	1000	1100	1150	1200	1250	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
	Thickness of Flange (mm)	22/28	22/28	22/28	22/28	24/32	24/32	28/36	28/36	28/36	30/38	32/40	32/40	37/45	42/50	50/110
	Diameter of Bolt Center (mm)	775	825	875	950	1000	1050	1100	1150	1250	1350	1450	1550	1650	1750	1800
	Diameter (Number) of Fixing bolts (mm)	$\phi 33 \times 12$	$\phi 33 \times 12$	$\phi 33 \times 12$	$\phi 33 \times 12$	$\phi 33 \times 12$	$\phi 33 \times 12$	$\phi 33 \times 12$	$\phi 33 \times 12$	$\phi 39 \times 12$	$\phi 39 \times 12$	$\phi 39 \times 12$	$\phi 39 \times 12$	$\phi 42 \times 12$	$\phi 42 \times 16$	$\phi 45 \times 12$
	Supposed Bolt (—)	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M30	M36	M36	M36	M36	M39	M39	M42
	Thickness of One Reinforcing Steel Plate (mm)	3.1	3.1	3.1	3.1	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	5.8	5.8	5.8
	Height (mm)	407.9	390.4	388.3	376.9	422.2	413.1	410.8	402.4	400.6	390.2	385.6	376.9	405.5	410.2	522.0
	Total Weight (kN)	6.5	7.0	7.9	8.9	11.9	12.9	14.6	15.6	17.3	20.1	23.3	26.0	33.9	39.9	65.1
Compression Properties	Critical Stress (N/mm <sup>2</sup> ) $\gamma=0 \sigma_{cr}$	43	52	58	69	78	89	101	113	122	136	148	160	173	185	200
	Ultimate Compressive Stress (N/mm <sup>2</sup> )	( $\gamma_0, \sigma_0$ )	(0,22)	(0,30)	(0,35)	(0,42)	(0,48)	(0,52)	(0,56)	(0,59)	(0,60)	(0,60)	(0,60)	(0,60)	(0,60)	(0,60)
		( $\gamma_1, \sigma_1$ )	(1,5,22)	(1,4,30)	(1,4,35)	(1,5,42)	(1,6,48)	(1,8,52)	(2,1,56)	(2,3,59)	(2,5,60)	(3,1,60)	(3,6,60)	(3,8,60)	(3,9,60)	(3,9,60)
		( $\gamma_2, \sigma_2$ )	(2,7,4)	(3,0,5)	(3,1,6)	(3,4,7)	(3,4,11)	(3,5,17)	(3,5,23)	(3,6,29)	(3,6,34)	(3,7,46)	(3,7,56)	—	—	—
	Compressive Stiffness ( $\times 10^3$ kN/m)	1970	2340	2660	3090	3510	3970	4490	4980	5450	6590	7860	9220	10700	12300	14200
	Nominal Long Term Compressive Stress (N/mm <sup>2</sup> )	6.6 <sup>+0.0</sup> <sub>-2.0</sub>	8.1 <sup>+0.0</sup> <sub>-2.7</sub>	9.1 <sup>+0.0</sup> <sub>-3.0</sub>	10.7 <sup>+0.0</sup> <sub>-3.5</sub>	12.0 <sup>+0.0</sup> <sub>-3.9</sub>	13.4 <sup>+0.0</sup> <sub>-4.4</sub>	15.0 <sup>+0.0</sup> <sub>-5.0</sub>	15.0 <sup>+0.0</sup> <sub>-5.0</sub>	15.0 <sup>+0.0</sup> <sub>-5.0</sub>	15.0 <sup>+0.0</sup> <sub>-5.0</sub>	15.0 <sup>+0.0</sup> <sub>-5.0</sub>	15.0 <sup>+0.0</sup> <sub>-5.0</sub>	15.0 <sup>+0.0</sup> <sub>-5.0</sub>	15.0 <sup>+0.0</sup> <sub>-5.0</sub>	15.0 <sup>+0.0</sup> <sub>-5.0</sub>
	Nominal Long Term Column Load (kN)	1860	2690	3500	4710	6050	7620	9540	10600	11800	14200	16900	19900	23000	26500	30100
	Allowable Tensile Stress ( $\gamma=100\%$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Shear Properties ( $\gamma=100\%$ )	Initial Stiffness ( $\times 10^3$ kN/m)	5.19	6.15	6.99	8.10	9.23	10.4	11.8	13.1	14.3	17.4	20.7	24.3	28.3	32.4	37.3
	Post Yield Stiffness ( $\gamma=100\%$ )( $\times 10^3$ kN/m)	0.519	0.615	0.699	0.810	0.923	1.04	1.18	1.31	1.43	1.74	2.07	2.43	2.83	3.24	3.73
	Characteristic Strength (kN)	71.5	83.9	97.3	112	127	143	161	179	199	240	285	335	389	446	507
	Equivalent Shear Stiffness ( $\times 10^3$ kN/m)	0.876	1.04	1.18	1.37	1.56	1.76	1.99	2.21	2.42	2.94	3.50	4.11	4.77	5.47	6.29
	Equivalent Damping Ratio (—)	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240




**TAMPAK DEPAN**  
 SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
 SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
 TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
 PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
 DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

#### TAMPAK DEPAN

NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
1	23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D  
 NIP : 1963 0605 1989 031004

ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D  
 NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN  
 NRP : 3115105020



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

POTONGAN B-B

NO. GAMBAR

JUMLAH GAMBAR

2

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

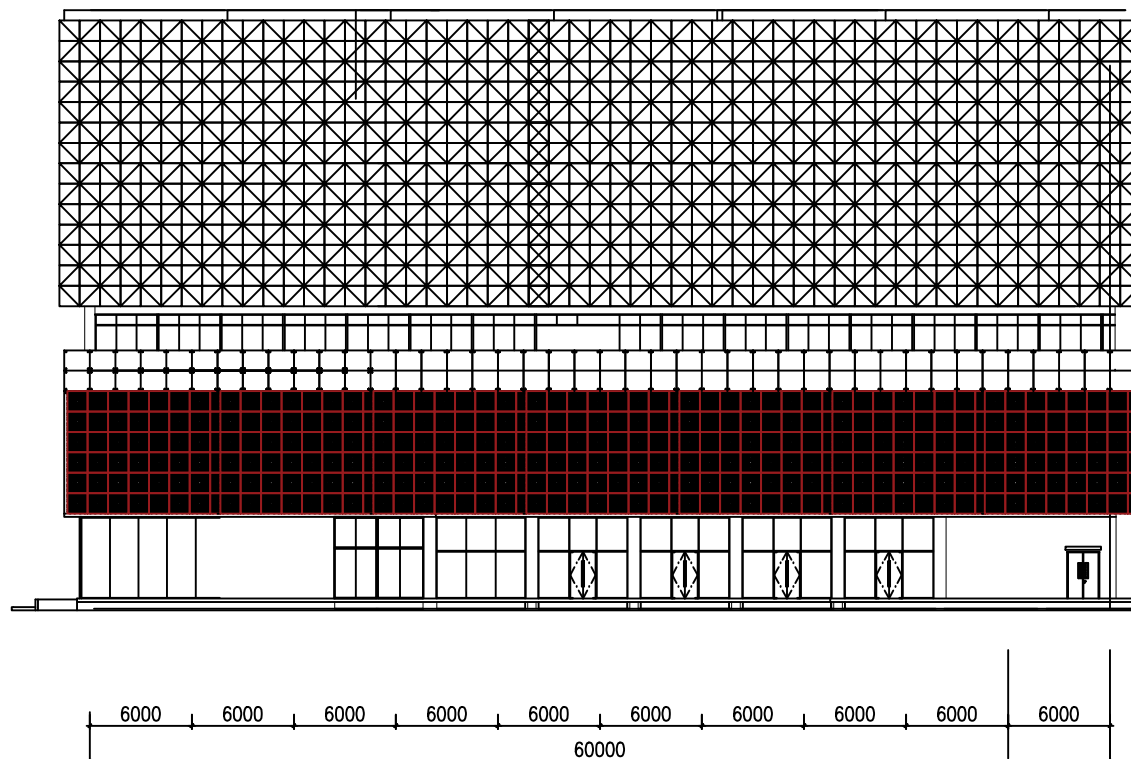
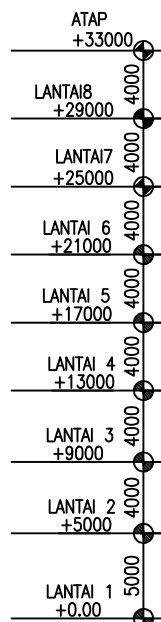
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



TAMPAK SAMPING  
SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

#### POTONGAN A-A

NO. GAMBAR

JUMLAH GAMBAR

3

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

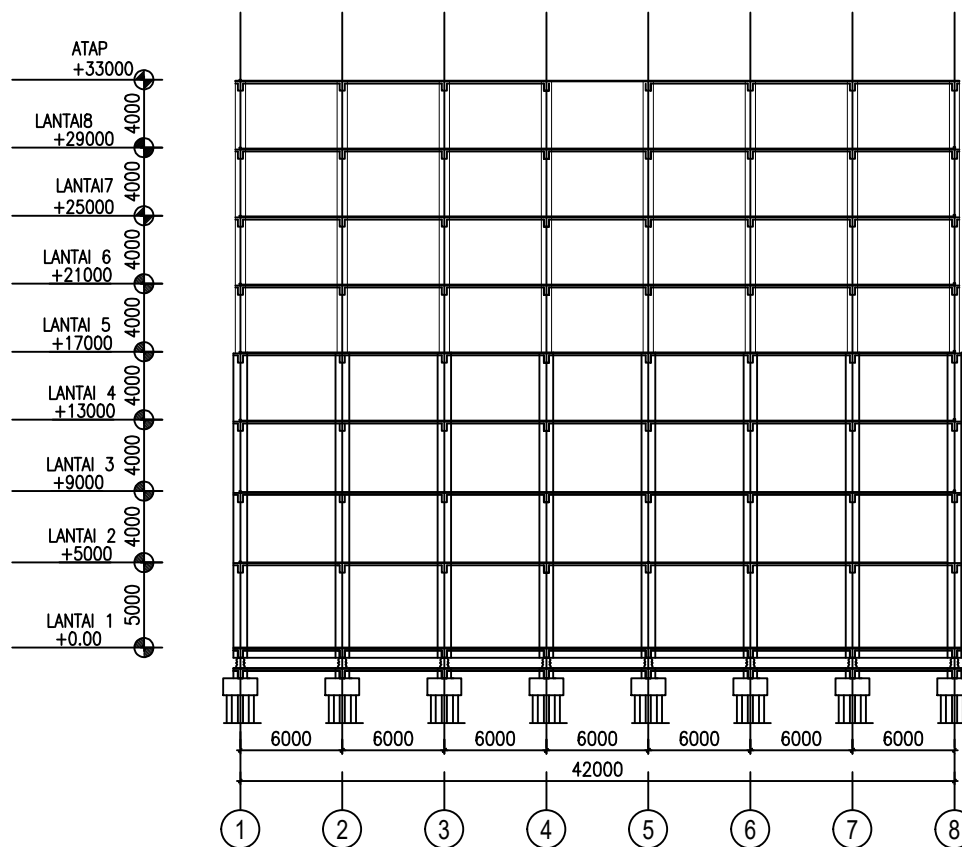
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



POTONGAN A-A  
SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

#### POTONGAN B-B

#### NO. GAMBAR

4

#### JUMLAH GAMBAR

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

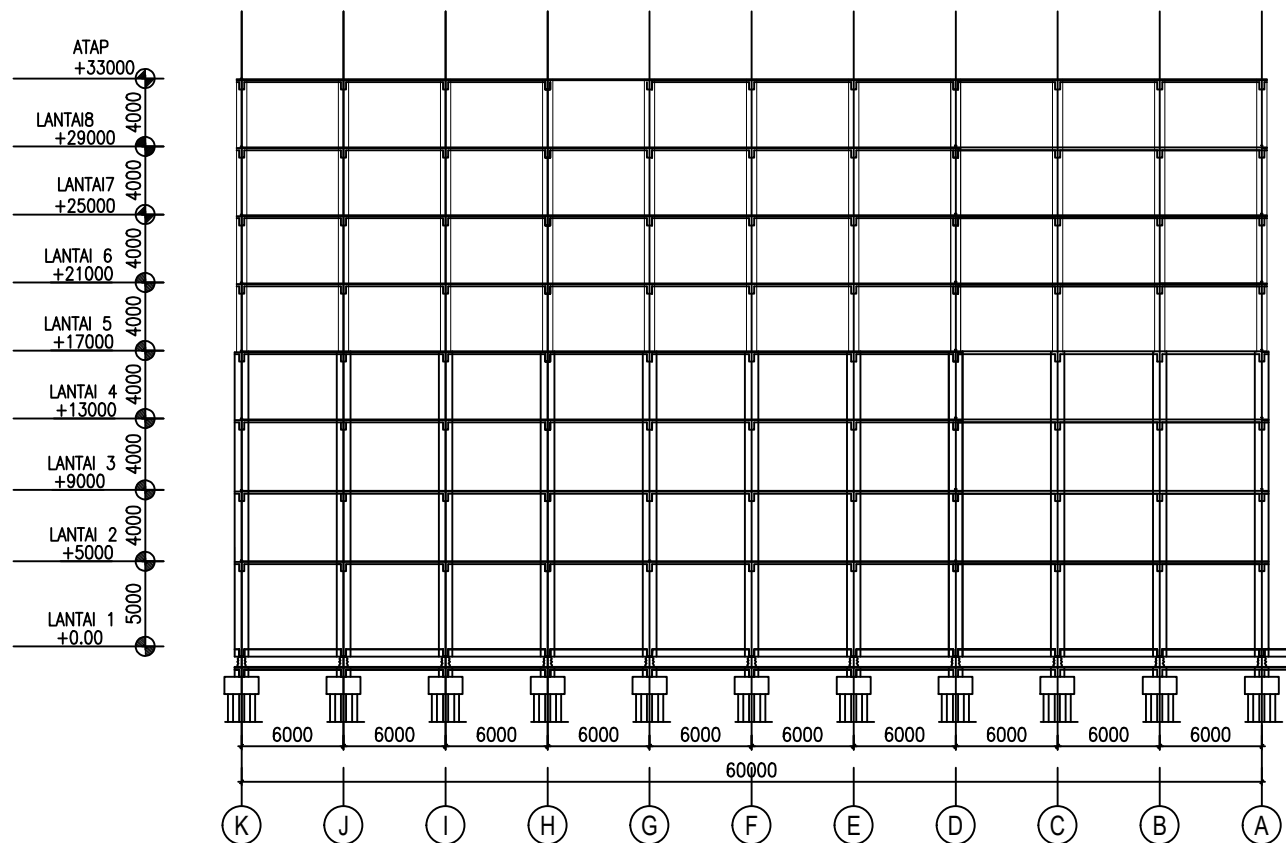
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



POTONGAN B-B  
SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

DENAH PEMBALOKAN LANTAI DASAR

NO. GAMBAR

JUMLAH GAMBAR

5

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

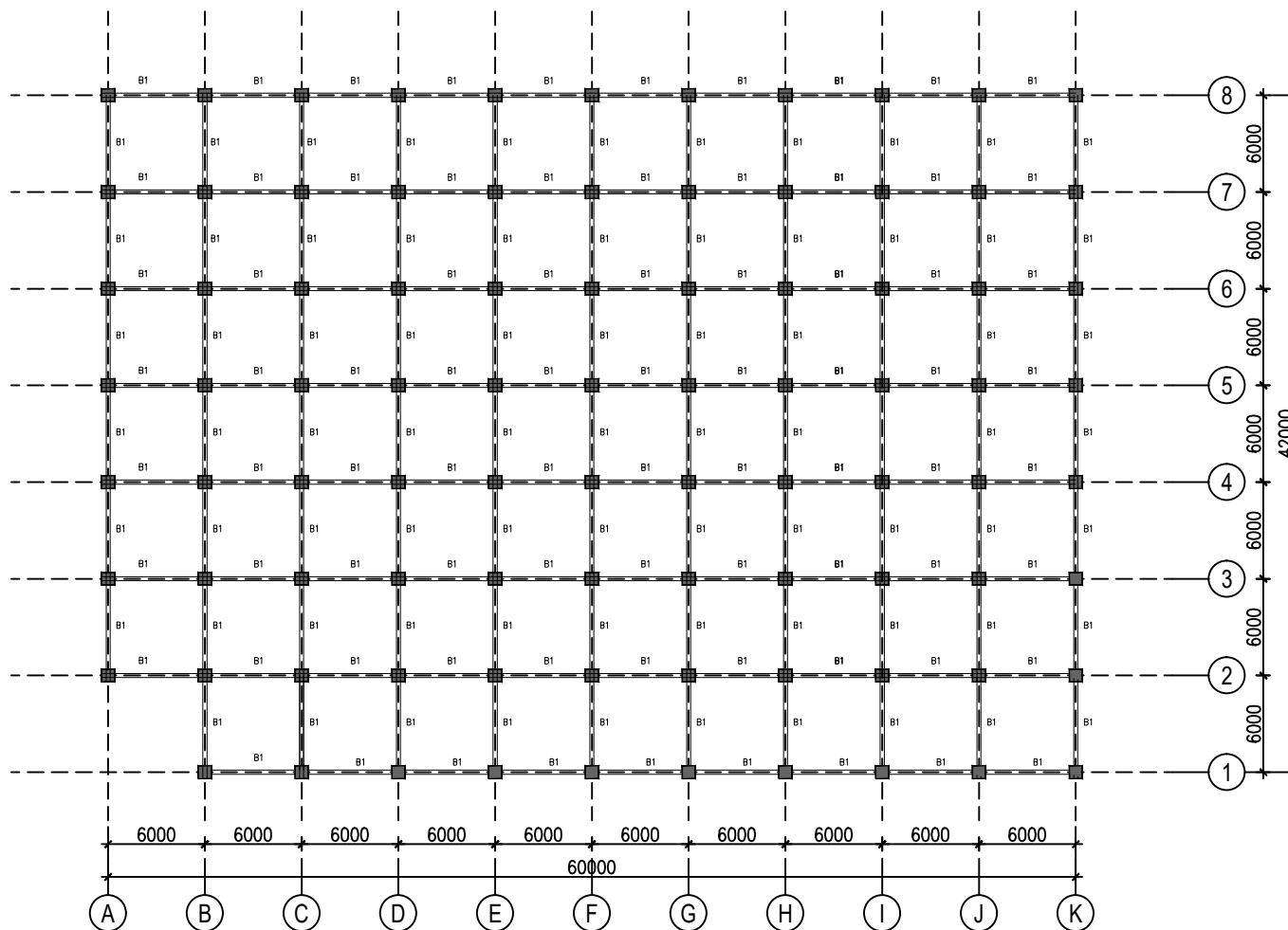
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

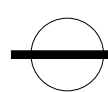
NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



 DENAH BALOK LANTAI DASAR  
SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN  
MUTU BETON :

- KOLOM : 35 MPa

- BALOK : 30 MPa

- PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

#### POTONGAN B-B

#### NO. GAMBAR

6

#### JUMLAH GAMBAR

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

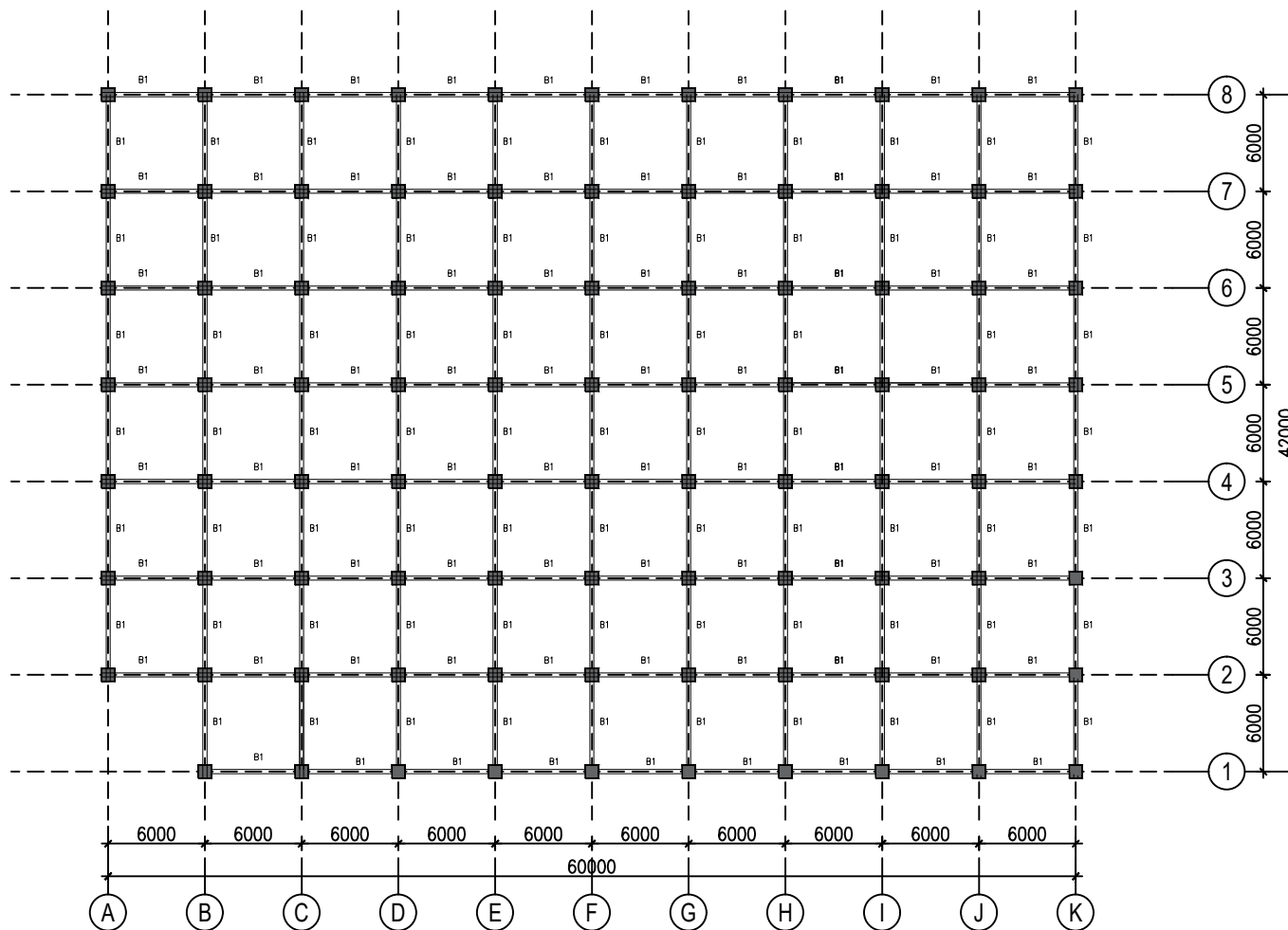
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



DENAH BALOK LANTAI DASAR

SKALA 1:400





JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LANTAI 1-4

NO. GAMBAR

JUMLAH GAMBAR

7

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

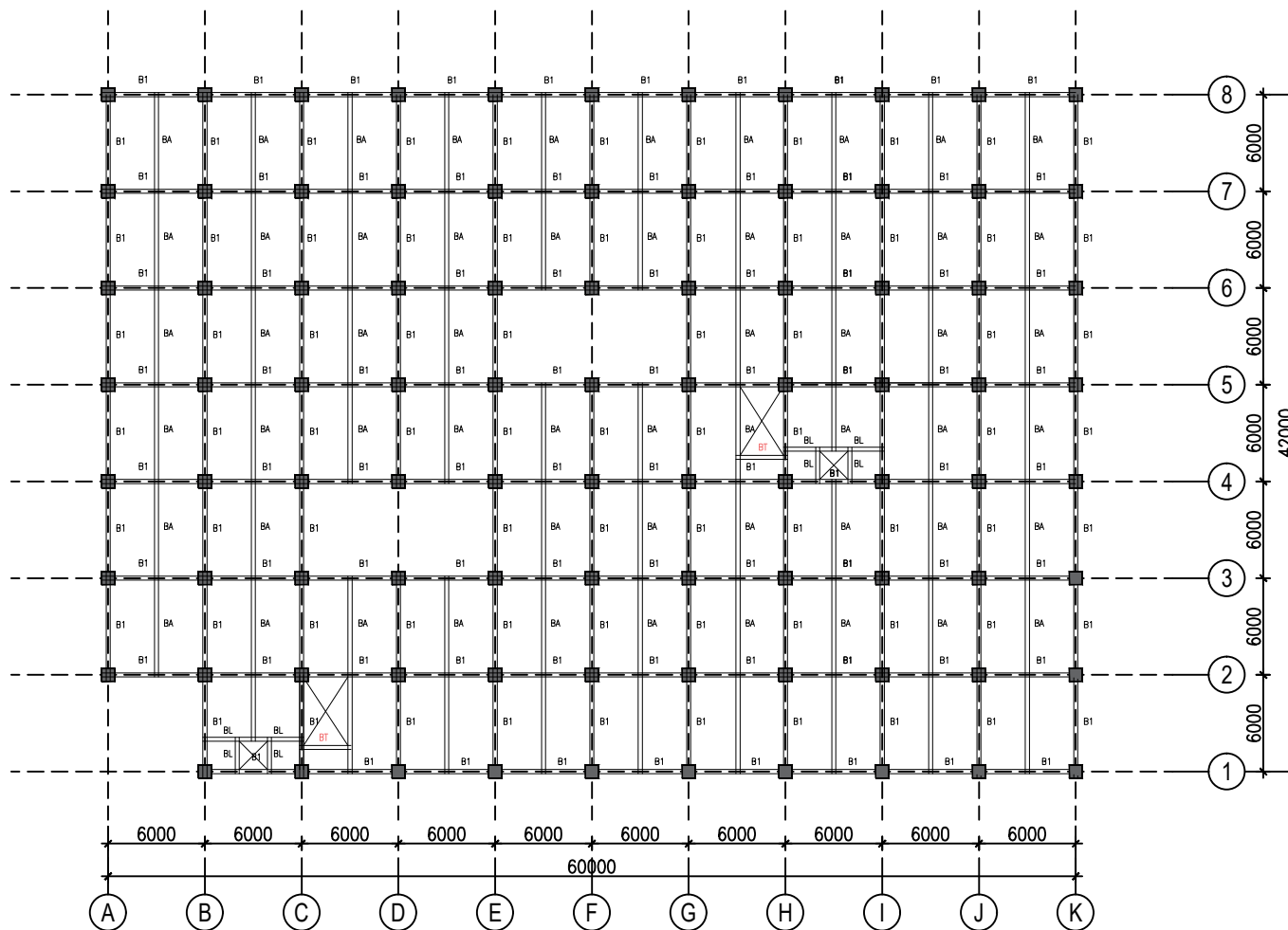
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



DENAH BALOK LANTAI 1-4

SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK 5-8

NO. GAMBAR

JUMLAH GAMBAR

8

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

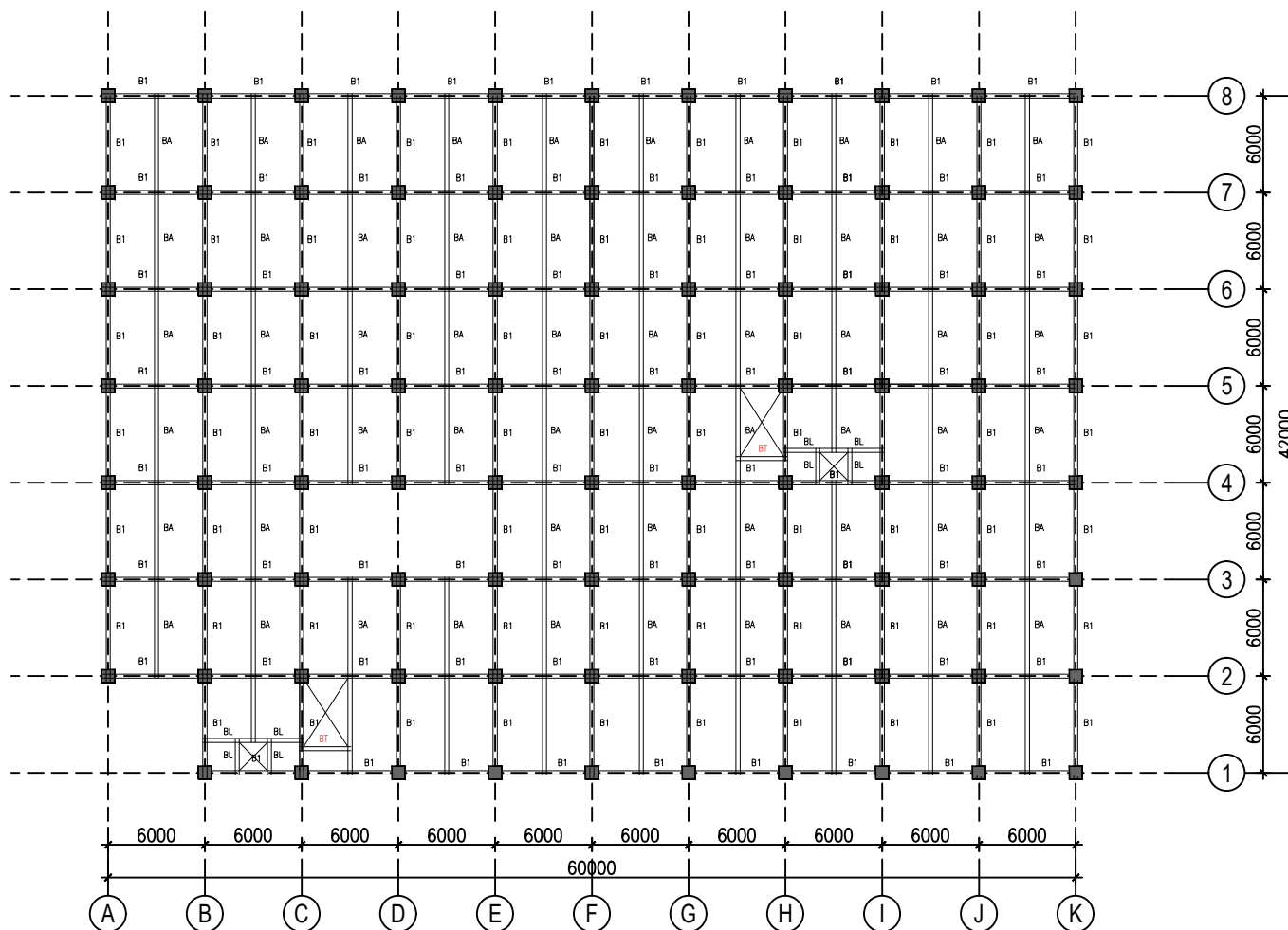
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



DENAH BALOK LANTAI 5-8

SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK LANTAI ATAP

NO. GAMBAR

JUMLAH GAMBAR

9

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

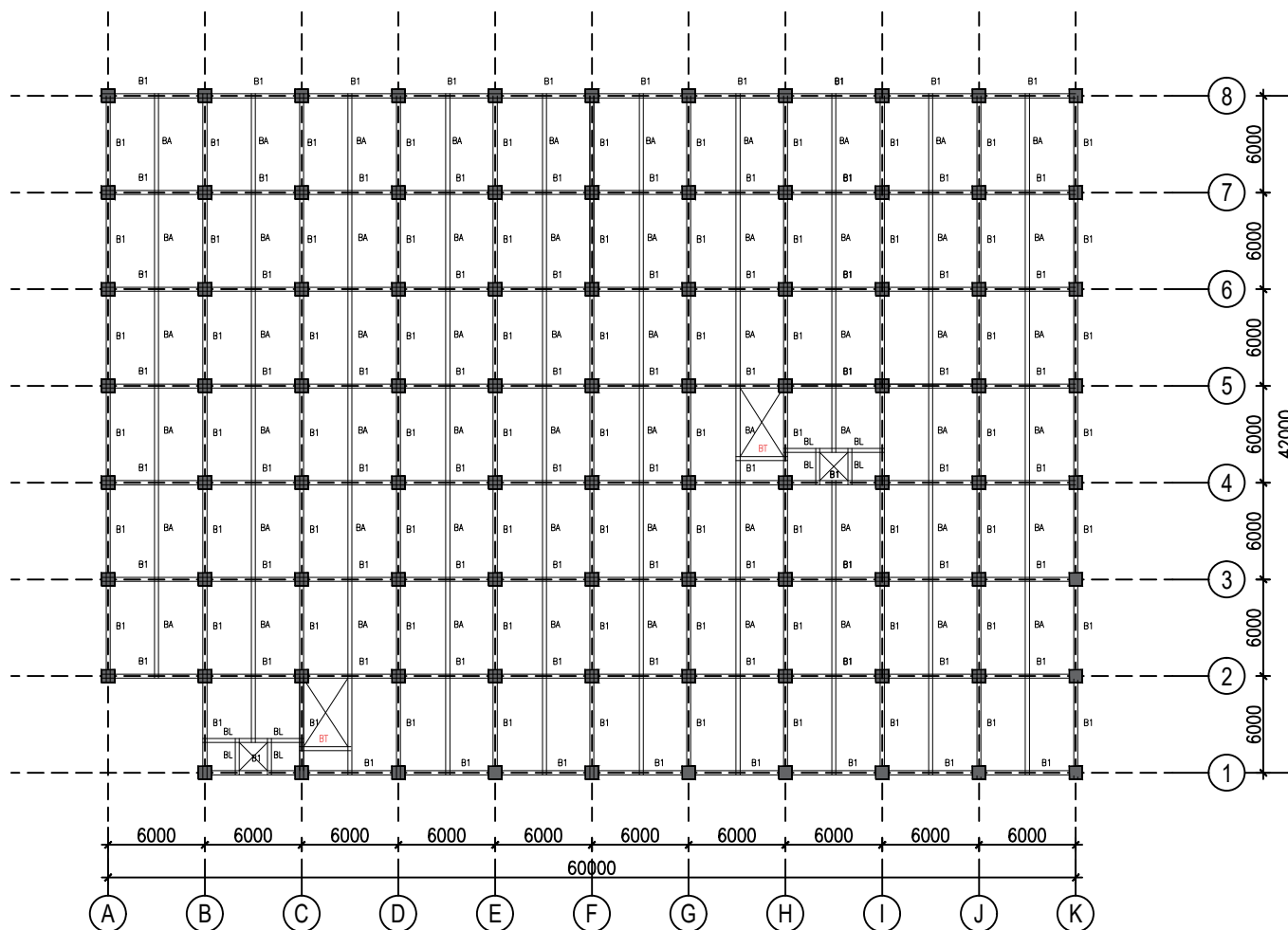
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



DENAH BALOK LANTAI ATAP

SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

- KOLOM : 35 MPa

- BALOK : 30 MPa

- PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

DENAH KOLOM LANTAI 1-4

NO. GAMBAR

JUMLAH GAMBAR

10

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

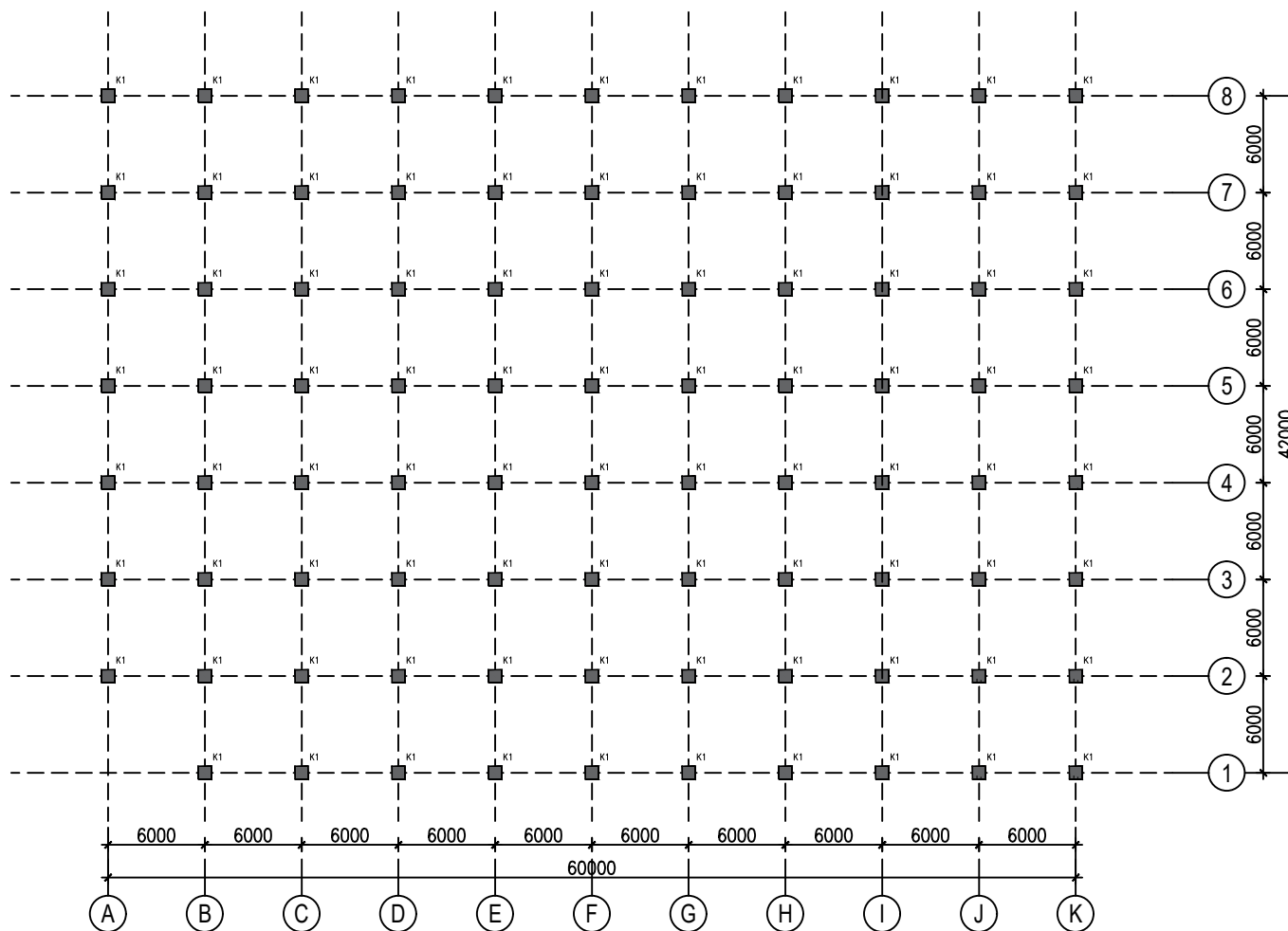
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



DENAH KOLOM LANTAI 1-4

SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

- KOLOM : 35 MPa

- BALOK : 30 MPa

- PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

#### POTONGAN B-B

#### NO. GAMBAR

11

#### JUMLAH GAMBAR

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

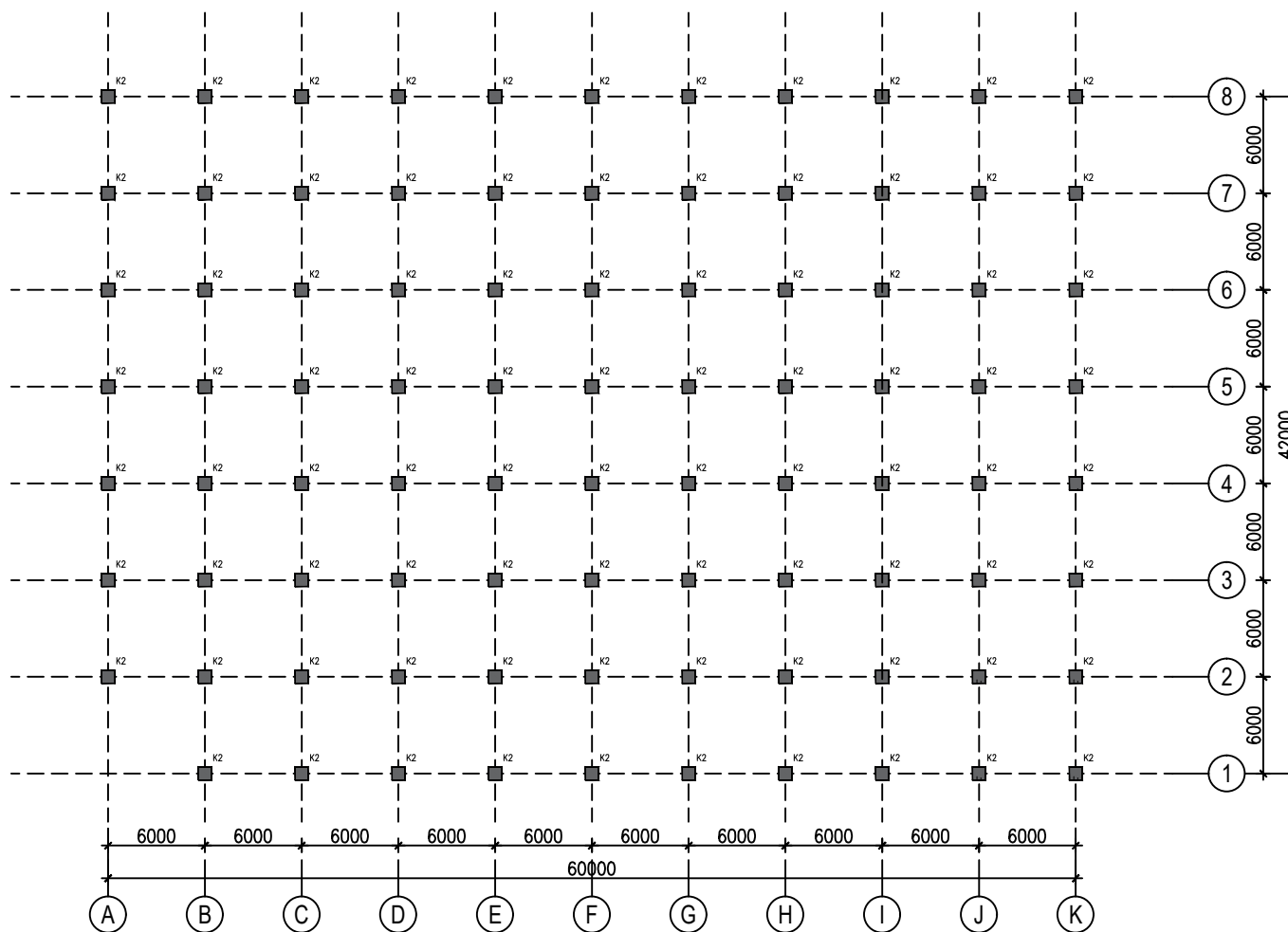
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



DENAH KOLOM LANTAI 5-8

SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

- KOLOM : 35 MPa

- BALOK : 30 MPa

- PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT LANTAI DASAR

NO. GAMBAR

JUMLAH GAMBAR

12

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

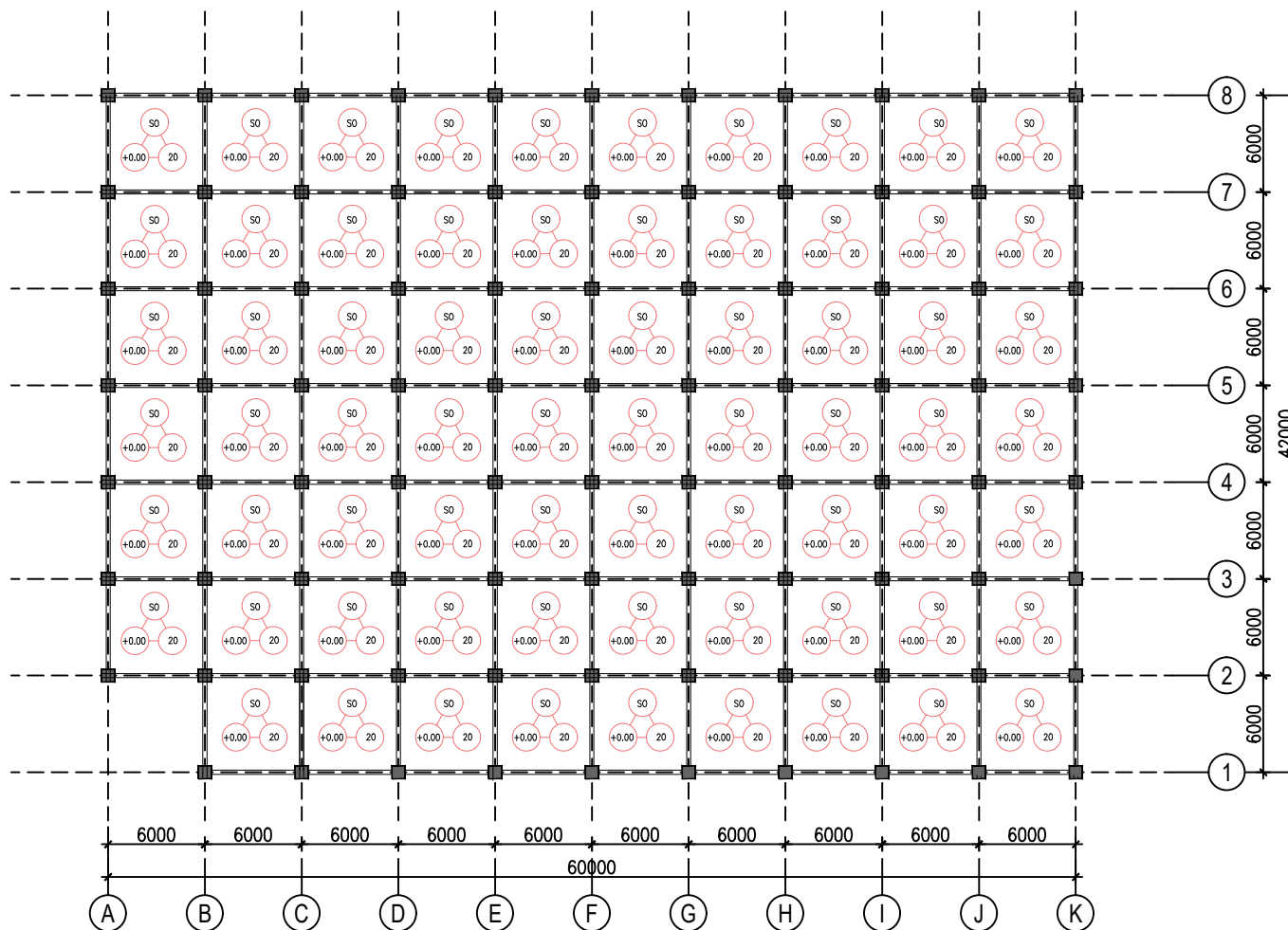
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



DENAH PLAT LANTAI DASAR

SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT LANTAI 1-4

NO. GAMBAR

JUMLAH GAMBAR

13

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

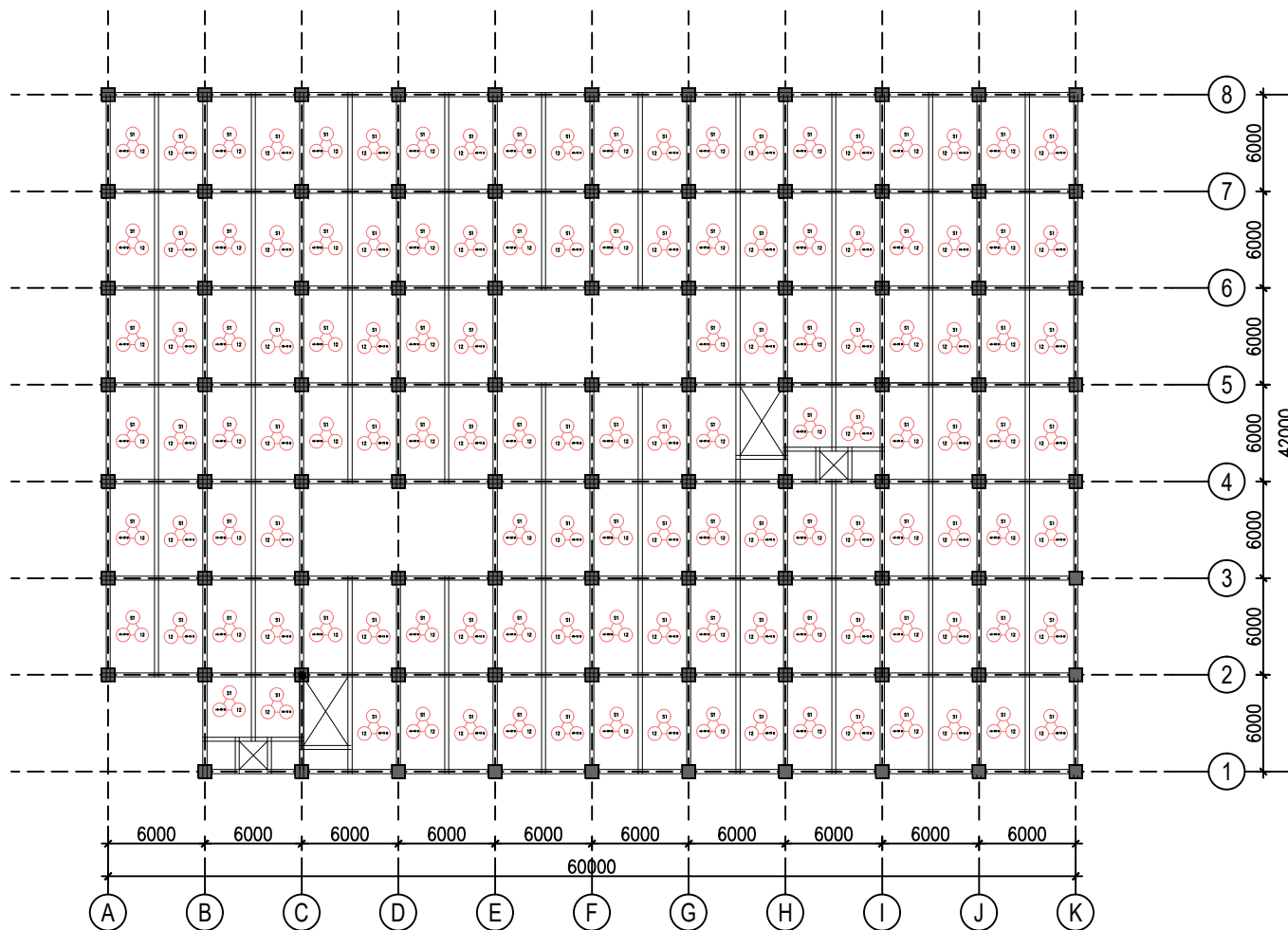
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

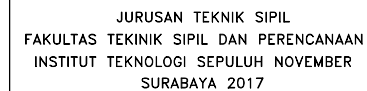
WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



DENAH PLAT LANTAI 1-4

SKALA 1:400



### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN  
MUTU BETON :

- KOLOM : 35 MPa
- BALOK : 30 MPa
- PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
 TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDBR)  
 PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
 DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT 5-8

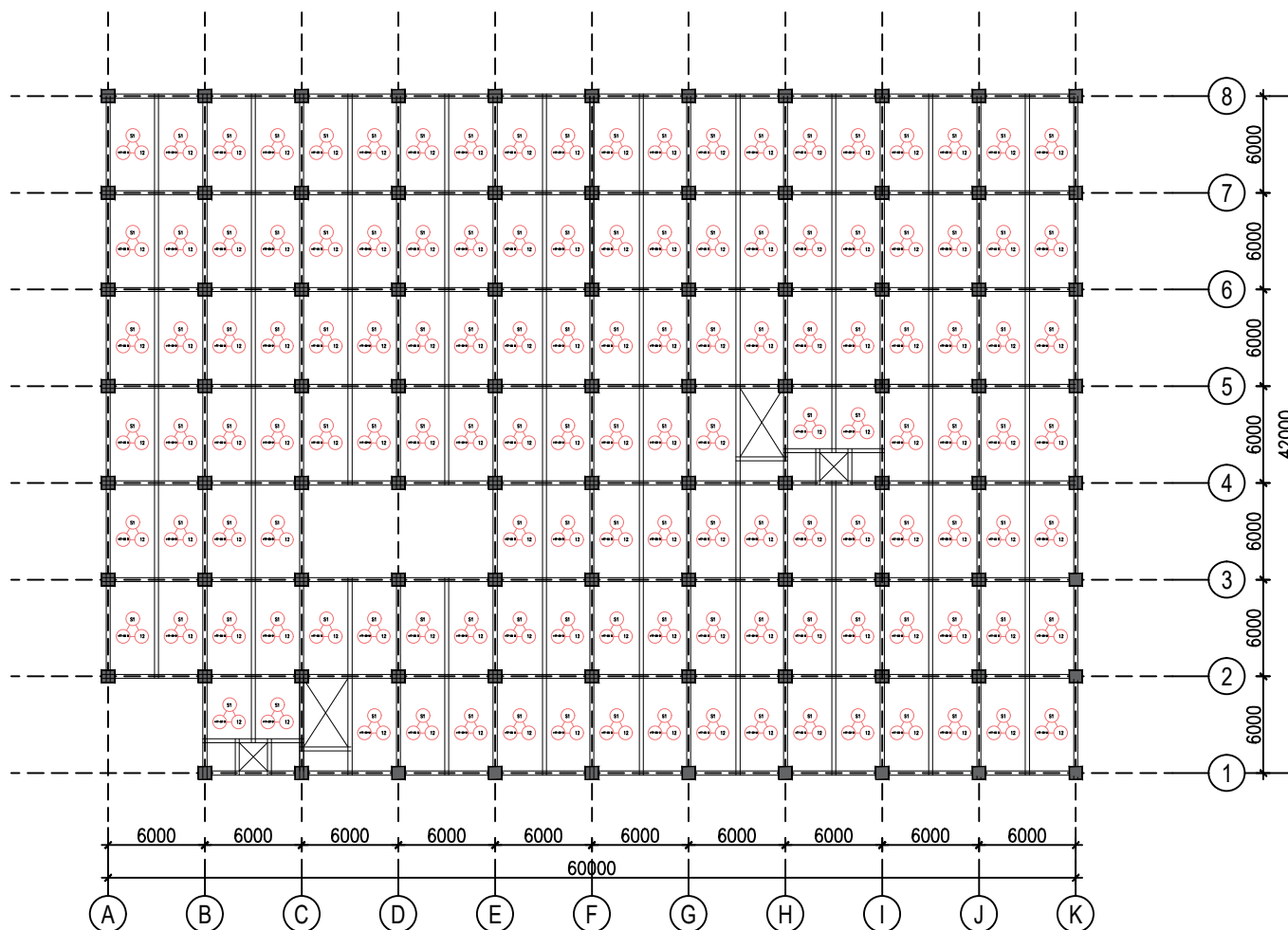
DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D  
NIP : 1963 0605 1989 031004

ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D  
NIP : 1970 0201 1995 122001

NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN  
NRP : 3115105020



DENAH PLAT LANTAI 5-8

---

SKALA 1:400





JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

#### DENAH PLAT LANTAI ATAP

#### NO. GAMBAR

15

#### JUMLAH GAMBAR

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

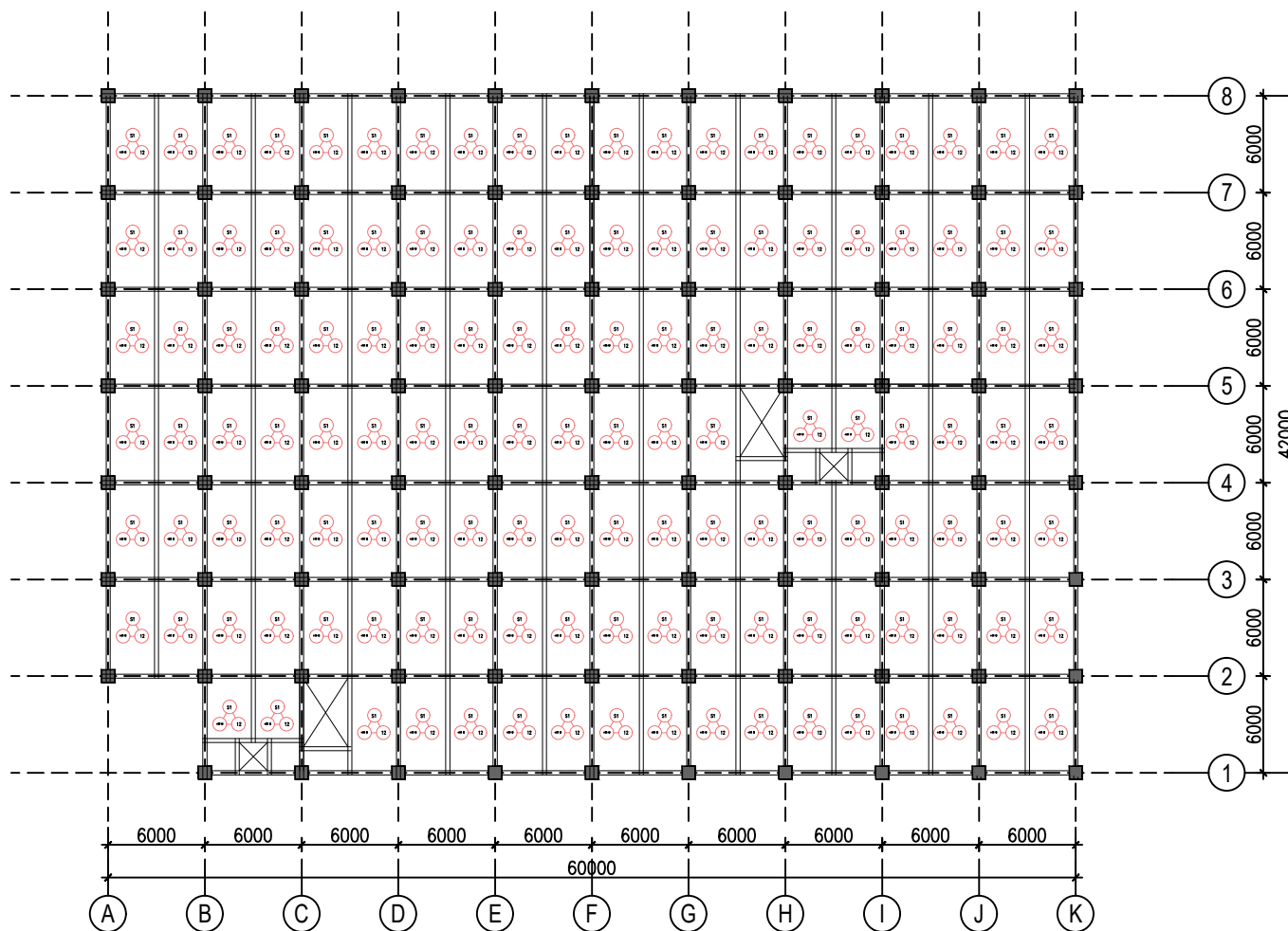
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



#### DENAH PLAT LANTAI ATAP

SKALA 1:400



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

#### DENAH PLAT LANTAI S1

#### NO. GAMBAR

16

#### JUMLAH GAMBAR

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

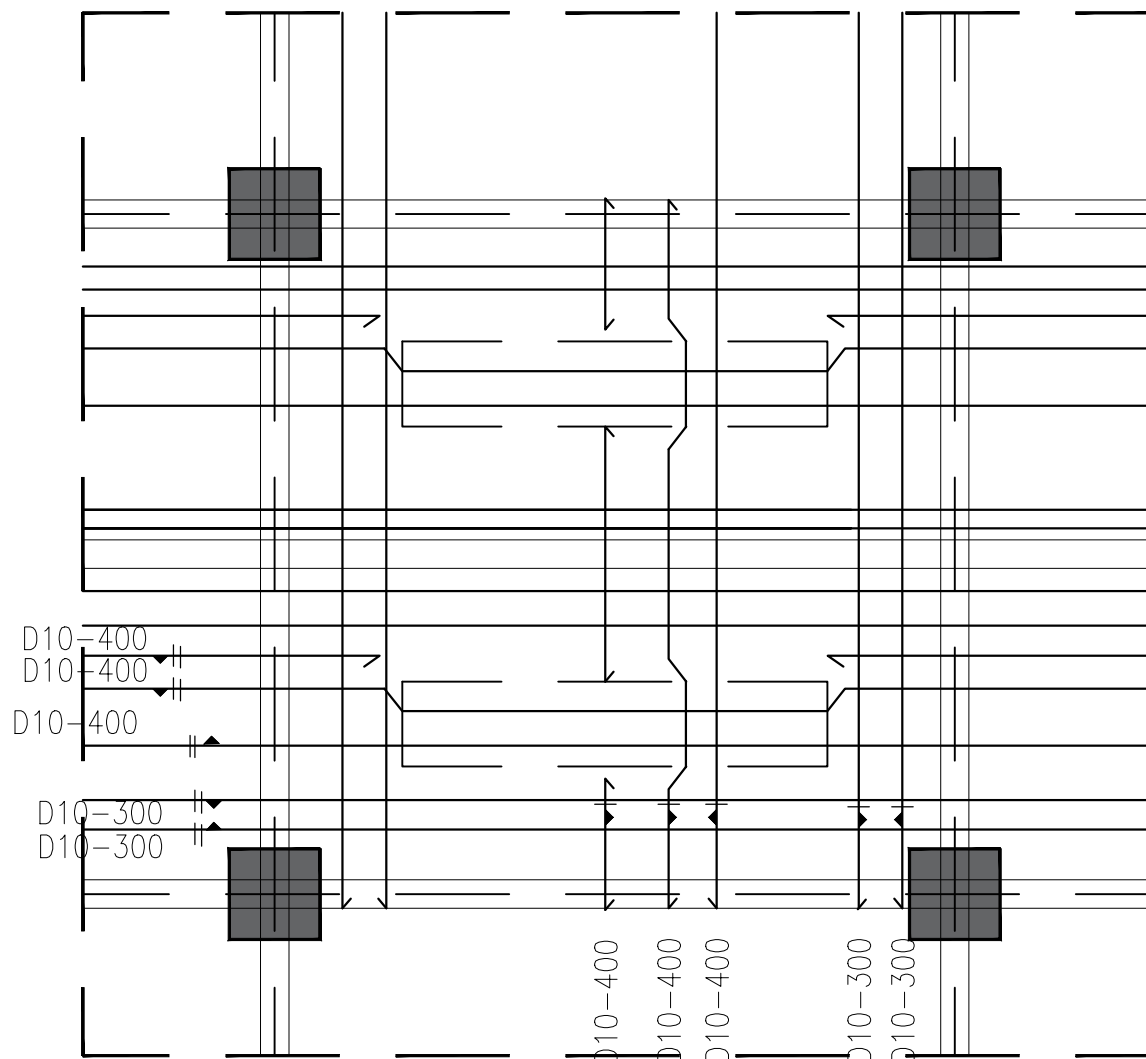
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



DETAIL PLAT S1

SKALA 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

- KOLOM : 35 MPa

- BALOK : 30 MPa

- PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

#### DENAH PLAT LANTAI S0

#### NO. GAMBAR

#### JUMLAH GAMBAR

17

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

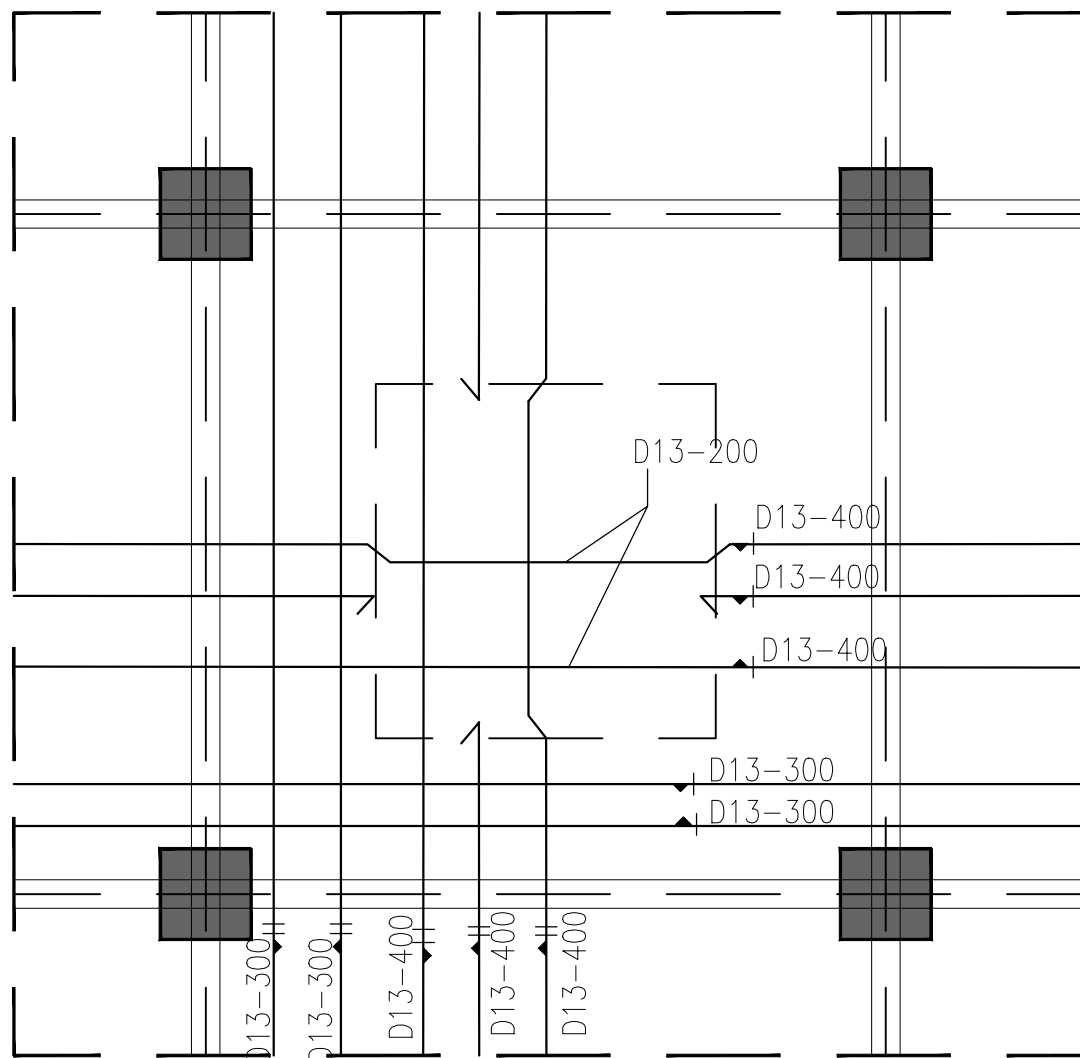
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

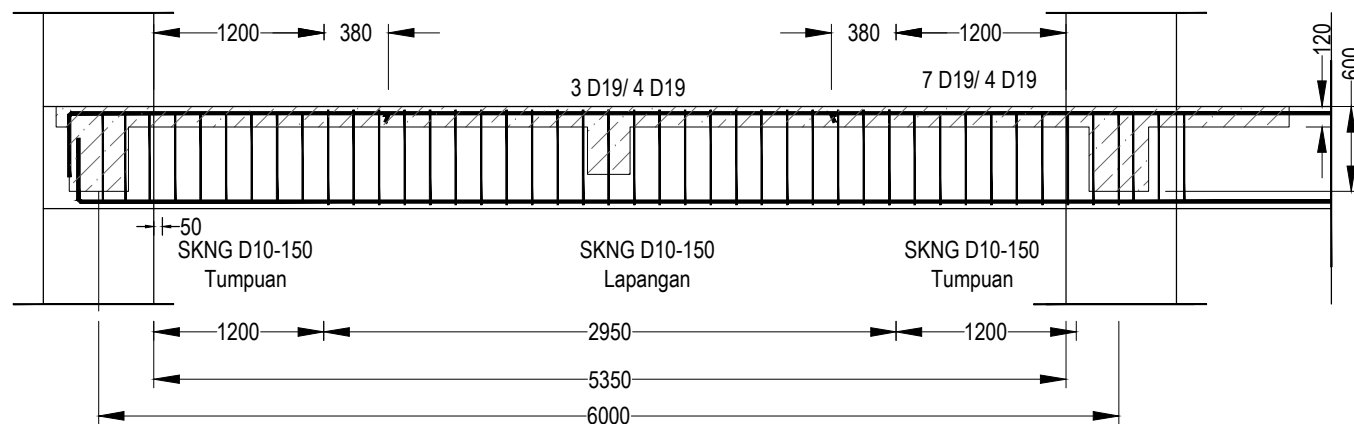
NRP : 3115105020



DETAIL PLAT S0

SKALA 1:20

TIPE BALOK	BI		
LOKASI POTONGAN	TUMP. KIRI	LAPANGAN	TUMP. KANAN
PENAMPANG			
UKURAN	400 x 600		
TUL. ATAS	7 D19	3 D19	D19 7
TUL. BAWAH	4 D19	4 D19	D19 4
SENGKANG	2D10 – 150	2D10 – 150	2D10 – 150
TUL. SAMPING	–	–	–



DETAIL BALOK  
SKALA 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT LANTAI ATAP

NO. GAMBAR

JUMLAH GAMBAR

18

23

SKALA

1:400

DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

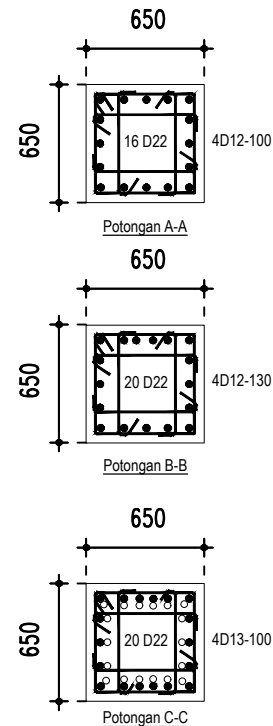
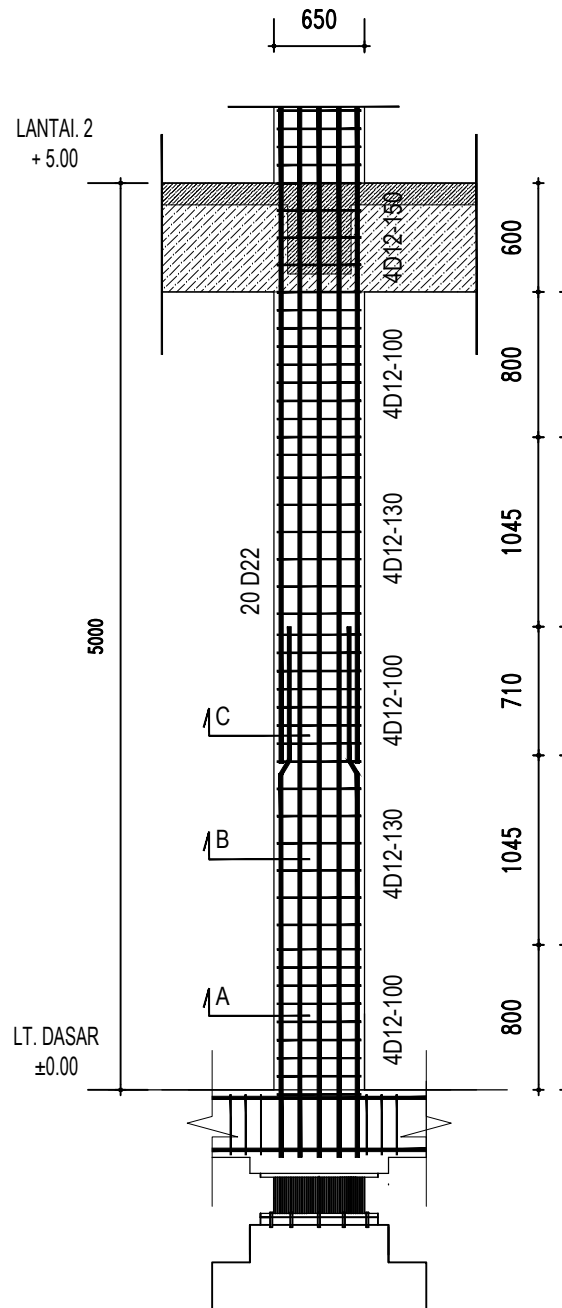
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



DETAIL KOLOM K1

SKALA 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

- KOLOM : 35 MPa

- BALOK : 30 MPa

- PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT LANTAI ATAP

NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
19	23

SKALA

1:400

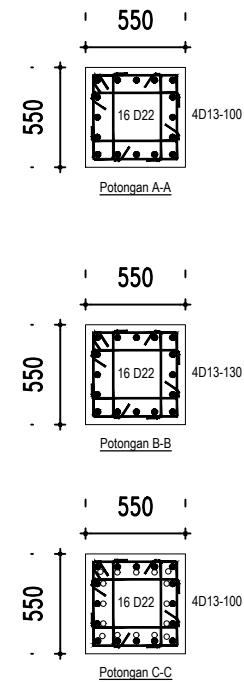
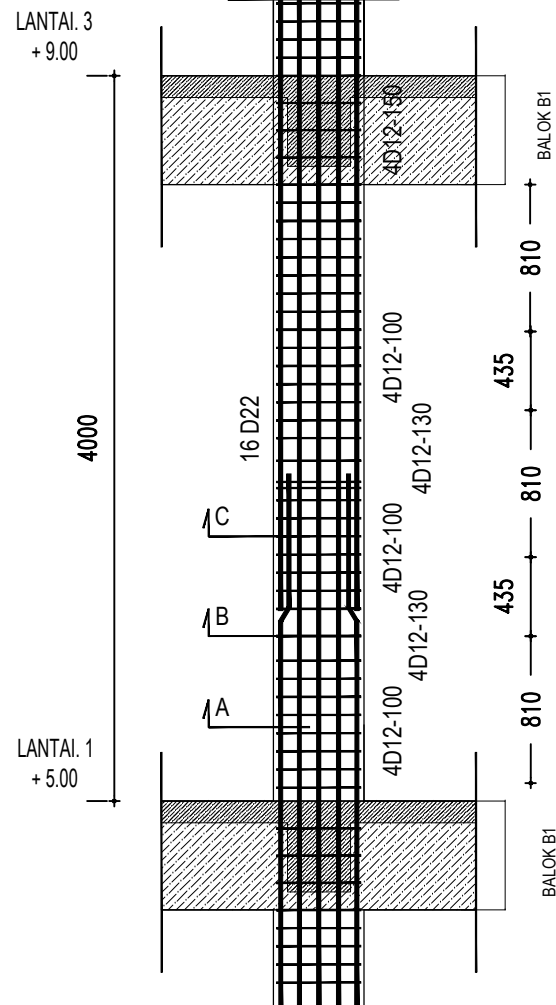
DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D  
NIP : 1963 0605 1989 031004

ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D  
NIP : 1970 0201 1995 122001

NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN  
NRP : 3115105020



DETAIL KOLOM K2  
SKALA 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

#### DENAH PLAT LANTAI ATAP

NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
20	23

#### SKALA

1:400

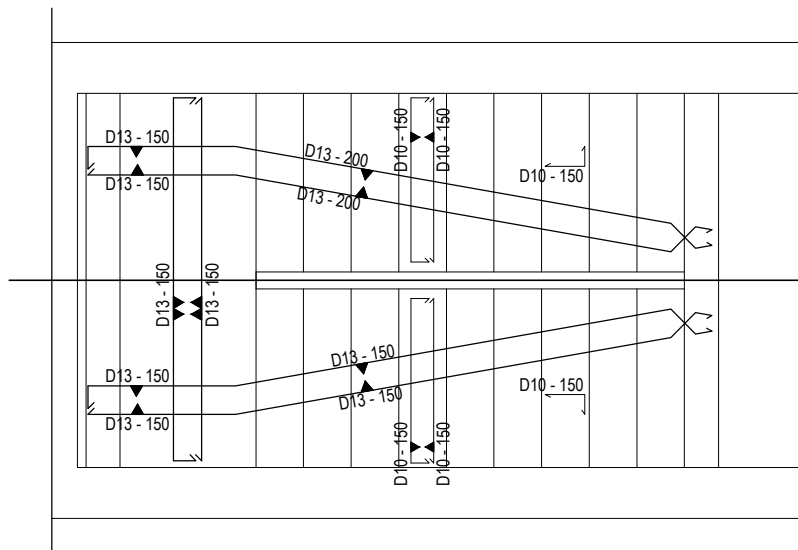
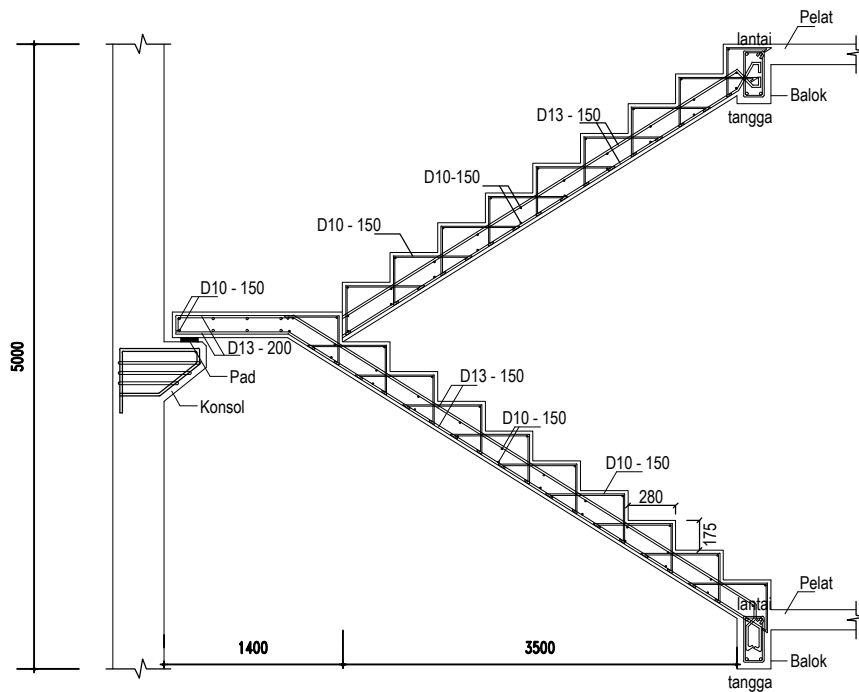
#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D  
NIP : 1963 0605 1989 031004

ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D  
NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN  
NRP : 3115105020



## DENAH DAN DETAIL TANGGA

SKALA 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

– KOLOM : 35 MPa

– BALOK : 30 MPa

– PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

### JUDUL GAMBAR

### POTONGAN TANGGA

NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
21	23

### SKALA

1:400

### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D  
NIP : 1963 0605 1989 031004

ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D  
NIP : 1970 0201 1995 122001

### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN  
NRP : 3115105020



JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

- KOLOM : 35 MPa

- BALOK : 30 MPa

- PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

#### DETAIL HDB

#### NO. GAMBAR

#### JUMLAH GAMBAR

22

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

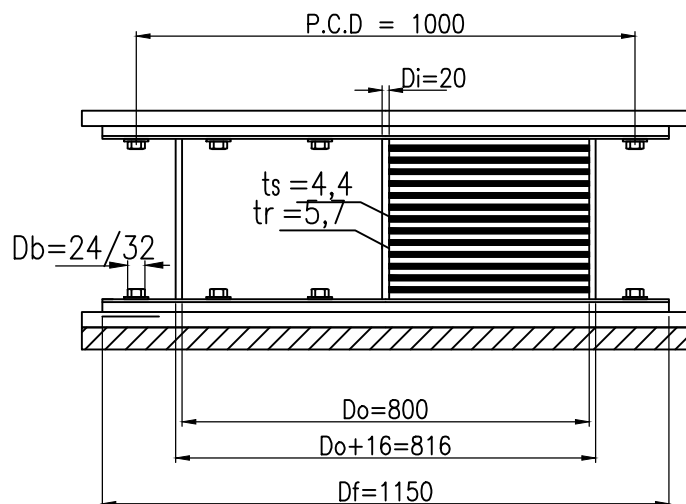
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

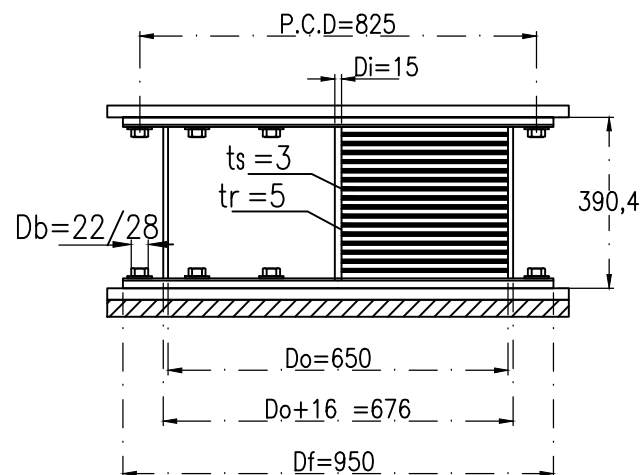
#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



PROPERTIES HH80X6R  
SKALA 1:25



PROPERTIES HH65X6R  
SKALA 1:25





JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER  
SURABAYA 2017

#### KETERANGAN

FUNGSI BANGUNAN : PUSAT PERBELANJAAN

MUTU BETON :

- KOLOM : 35 MPa

- BALOK : 30 MPa

- PLAT : 30 MPa

MUTU BAJA : BJTD U40

#### JUDUL TUGAS AKHIR

EVALUASI KINERJA BASE ISOLATION  
TIPE HIGH DAMPING RUBBER BEARING (HDRB)  
PADA MODIFIKASI GEDUNG J-TOS JOGJAKARTA  
DENGAN PERENCANAAN ANALISA PUSHOVER

#### JUDUL GAMBAR

#### DENAH PENEMPATAN BASE ISOLATED

#### NO. GAMBAR

23

#### JUMLAH GAMBAR

23

#### SKALA

1:400

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. FAIMUN, MSc., Ph.D

NIP : 1963 0605 1989 031004

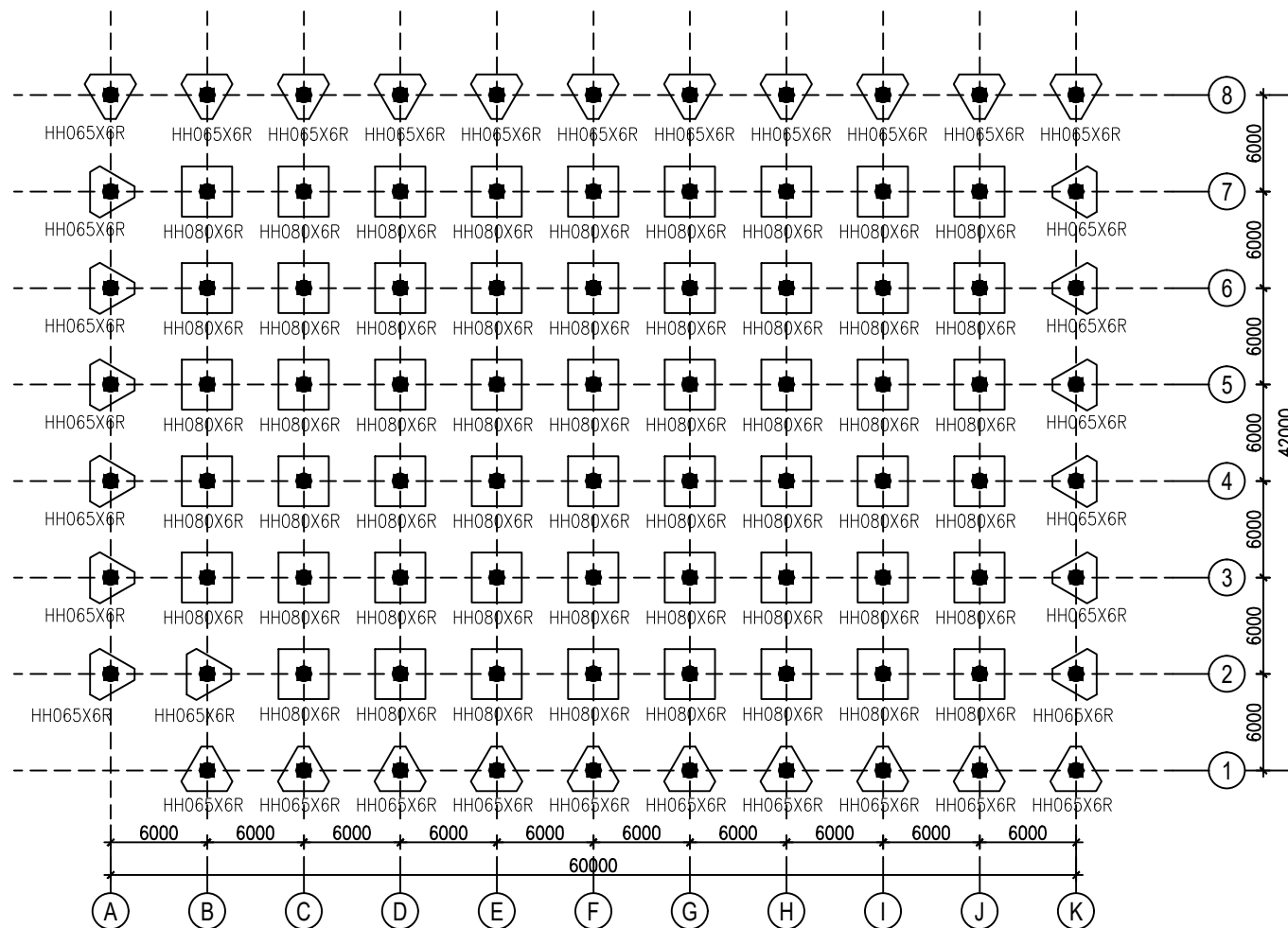
ENDAH WAHYUNI, ST., MSc., Ph.D

NIP : 1970 0201 1995 122001

#### NAMA MAHASISWA

WIKI ANDRIAN

NRP : 3115105020



DENAH PENEMPATAN BASE ISOLATED

SKALA 1:400

## BIODATA PENULIS



### **Wiki Andrian**

Lahir di Kayu Aro pada tanggal 06 April 1990. Penulis merupakan anak ke tiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 234 Patok Empat (1996-2002), SMPN 2 Kayu Aro (2002-2005), SMKN 2 Sungai Penuh (2005-2008), dan Jurusan Teknik Sipil Konsentrasi Sipil di Politeknik Negeri Padang (2008-2011) mengambil bidang studi stuktur dengan judul Tugas Akhir **“Rencana Pelaksanaan Pembangunan Bendung D.I Lubuk Buaya (3.326 Ha) Pesisir Selatan”**. Selanjutnya terdaftar di Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 3115 105 020. Di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya ini penulis adalah Mahasiswa Program Sarjana (S-1) dengan bidang studi struktur dan judul tugas akhir **“Evaluasi Kinerja Gedung Menggunakan Base Isolation Tipe *High Damping Rubber Bearing* (HDRB) Pada Modifikasi Gedung J-Tos Jogjakarta Dengan Perencanaan Analisa Pushover”**.

Contact Person:

Email : [andrian.patok4@gmail.com](mailto:andrian.patok4@gmail.com)

Twitter : @wicky\_P4



Form AK/TA-04  
rev01

**PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS**  
**LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)**

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Endah Wahyuni, ST, Msc. PhD
NAMA MAHASISWA	: WIKI ANDRIAN
NRP	: 3115105020
JUDUL TUGAS AKHIR	: Evaluasi Kinerja Base Isolator Tipe HORB pada modifikasi gedung 3-TD Jogyakarta dengan perencanaan analisa push over
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	10/3/17	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preliminary Designing</li> <li>- perhitungan struktur sekunder</li> <li>- pastikan desain berdasarkan force approach dengan performance</li> <li>- approach gaya dalam yg digunakan untuk perhitungan selanjutnya</li> </ul>		CO /
2	28/4/17	Desain base isolator etc. <ul style="list-style-type: none"> <li>- push over, retrofitment (dengan dilelang)</li> <li>- definisi Sandi - Khasis</li> <li>- Coba dengan tanpa dilelang</li> </ul>		CO /
3	2/5/17	<ul style="list-style-type: none"> <li>- penjelasan perubahan tempat dari gambar ke organkita</li> <li>- perubahan clamping ke. Respon.</li> <li>- analisis kinerjanya</li> </ul>		CO /



Form AK/TA-04  
rev01

**PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS**  
**LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)**

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



NAMA PEMBIMBING	: Ir. Fairmun Msc. PhD
NAMA MAHASISWA	: WIKI ANDRIAN
NRP	: 3115107020
JUDUL TUGAS AKHIR	: Evaluasi Kinerja Base Isolator tipe HDRB pada modifikasi Gedung 3-TK BPPKPTK dengan analisis pushover.
TANGGAL PROPOSAL	:
NO. SP-MMTA	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menentukan direksi S. Diketahui ada gambar/grafik Setelah ada damping</li> <li>- Reduksi spektrum:</li> <li>- perbandingan momen-momen yg ada di perantara.</li> <li>- Cek asstid. untuk respon spektrum</li> <li>- Rumus kurva pushover</li> </ul>		10704



Form AK/TA-04  
rev01

**PROGRAM STUDI S-1 JURUSAN TEKNIK SIPIL FTSP - ITS**  
**LEMBAR KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR (WAJIB DIISI)**

Jurusan Teknik Sipil Lt.2, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp.031-5946094, Fax.031-5947284



<b>NAMA PEMBIMBING</b>	: Ir. Faimun, Msc. PhD
<b>NAMA MAHASISWA</b>	: WIKI Andrian
<b>NRP</b>	: 3115105020
<b>JUDUL TUGAS AKHIR</b>	: Evaluasi kinerja base isolator tipe HDRB pada modifikasi Gedung J-TOS Jogjakarta dengan analisa push over
<b>TANGGAL PROPOSAL</b>	:
<b>NO. SP-MMTA</b>	:

NO	TANGGAL	KEGIATAN		PARAF ASISTEN
		REALISASI	RENCANA MINGGU DEPAN	
1	07/03/17	Preliminary design - kurangi tulangan - sudah dibuat HRPK rencana gempa - start gedung dengan gempa	- Desain gedung temp. gempa	
2		- dimodelkan dengan base isolator		
3	17/03/17	- preliminary design - perhitungan struktur sekunder  - Gyp gempa ditata ulang dimainkan aku setelah olah kata desain dengan gempa rencana komputer dibawah 10 dengan kuat  - gempa taili dengan dimainkan dengan gempa - Anginan lama perahun Gempa baru	- Base isolator desain teknik bangun sudah dibuat - penulisan laporan SAP	
4	01/04/17	Transisi damping - Kapsitor ASTM - spektrum damping dimisut		